DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zwölfter Jahrgang | 21. November 1924 | Heft 47

88. VERSAMMLUNG

DER

GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE ZU INNSBRUCK VOM 21. BIS 27. SEPTEMBER 1924

*

VORTRÄGE DER ALLGEMEINEN SITZUNGEN UND DER SITZUNGEN DER HAUPTGRUPPEN

Inhalt:

Allgemeine Sitzungen.

Seite

Zum Leib-Seele-Problem. Von A. Hoche, Freiburg 963
Konstitution und Charakter. Von Hans W. Gruhle, Heidelberg 969
Über die Erdbebenkatastrophe in Japan am 1. September 1923. Von H. Thoms, Berlin 975
Sinnesphysiologie und „Sprache" der Bienen. Von K. v. Frisch, Breslau 981
Blütenökologie und Sinnesphysiologie der Insekten. Von Fr. Knoll, Prag 988
Zukunftsaufgaben der Vogelblumenforschung auf Grund neuesten Tatbestandes. Von Otto Porsch, Wien 993
Das Antlitz der Alpen. Von Albrecht Penck, Berlin 1000
Über die Tektonik der Alpen. Von Otto Ampferer, Wien 1007
Die Naturdenkmäler Südtirols und ihre Erforschung durch deutsche Naturforscher. Von R. v. Klebelsberg, Innsbruck 1015

Sitzungen der medizinischen und naturwissenschaftlichen Hauptgruppen.

Die Idiosynkrasien. Von R. Doerr, Basel 1018
Die Physiologie der Arbeit. Von W. R. Hess, Zürich 1031
Berufliche Arbeit als physiologisches Problem. Von E. Atzler, Berlin 1039
Grundlagen der Quantentheorie und des Bohrschen Atommodelles. Von A. Sommerfeld, München 1047
Die chemischen Eigenschaften der Atome nach der Bohrschen Theorie. Von H. A. Kramers, Kopenhagen 1050
Molekulareigenschaften und Bandenspektren. Von A. Kratzer, Münster i. W. . . . 1054
Die Quantenregeln in der Photochemie. Von E. Warburg, Berlin 1058
Atome und Molekülstöße und ihre chemische Bedeutung. Von J. Franck, Göttingen 1063
Die physikalischen Grundlagen der Sonnen- und Himmelsstrahlung und ihre Anwendung in der Therapie. Von C. Dorno, Davos 1068
Die Einwirkung des Klimas auf den gesunden und kranken Menschen. Von Otto Kestner, Hamburg 1075
Die kosmischen Einflüsse im Seelenleben. Von Willy Hellpach, Karlsruhe 1079

Ein kurzer Bericht über die *Abteilungssitzungen* ist in den Mitteilungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte Nr. 9/12 (Naturwissenschaften, Heft 46 vom 14. November 1924) erschienen.

Zum Leib-Seele-Problem.

Von A. Hoche, Freiburg.

Der Vorstand hat den Mut gehabt, das Leib-Seele-Problem als Vortrag für eine allgemeine Sitzung zu wählen, und ich habe den größeren Mut gehabt — vielleicht auch den Leichtsinn — den Auftrag zur rednerischen Behandlung dieses Themas anzunehmen. Von vornherein war klar, daß es in dem engbemessenen zeitlichen Rahmen unmöglich sein mußte, dem Gegenstand in seiner Gesamtheit auch nur im entferntesten gerecht zu werden. Es konnte sich nur darum handeln, nicht *das* Leib-Seele-Problem zu erörtern, sondern aus dem uferlosen Bezirke der Gedankengänge, die um das Problem kreisen, einige wenige herauszugreifen. Mein Ausgangspunkt wird dabei von zwei Tatsachen bestimmt werden: einmal von der, daß ich zu einer Versammlung von Naturforschern und Ärzten und nicht auf einem Philosophentag spreche, und zweitens davon, daß der vor Ihnen stehende Redner berufsmäßig genötigt und gewöhnt ist, sich mit den Ergebnissen der Experimente herumzuschlagen, die die Natur an menschlichen Leibern anstellt, um die Seele krank zu machen.

Das Leib-Seele-Problem selbst ist so alt wie höheres Denken überhaupt; es besteht, seitdem menschliche Nachdenklichkeit vor dem Anblick des Schlafenden, des Träumenden und des Toten wach wurde; seitdem ist es in wechselnder Gestalt ein ständiger Begleiter des Menschengeschlechtes gewesen.

Das *naive Denken* ist hierbei in den verflossenen zweitausend Jahren von wissenschaftlichen Meinungen viel weniger beeinflußt worden, als auf anderen Gebieten, und der Hauptsache nach hat sich auch für die Gebildeten von heute darin wenig geändert: die Seele feiner an Stoff wie der Leib, sein Bewohner, in gewissem Sinne sein Herr, fähig, außerhalb des Körpers zu existieren und in diesem Falle ein erkennbares Abbild ihres früheren Leibes. Nur in einem Punkte ist die naive Meinung über den Zusammenhang von Leib und Seele heute gegen früher etwas enger und bestimmter geworden, insofern als der enge Rapport nicht zwischen dem ganzen Körper und dem Geist, sondern zwischen Gehirn und Psyche angenommen wird. Die große Rolle, die der Spiritismus noch immer spielt, würde nicht denkbar sein, wenn die populäre Meinung nicht die Sonderexistenz einer vom Leibe gelösten Seele als Abbild ihres früheren Gehäuses in großem Umfange für selbstverständlich hielte.

(Das *wissenschaftliche* Interesse am Spiritismus liegt nur in der Frage nach dem Geisteszustand derjenigen, die an ihn glauben.)

Die *Religion* ergänzte von jeher die Lücken unserer Erkenntnis mit bunten Bildern, wie sie dem unheilbaren Bedürfnis des Menschen nach einer tröstlichen Betrachtungsweise entsprachen. Unangenehme Denkergebnisse werden auf die Dauer von dem Durchschnittsmenschen nicht ertragen.

In der *Philosophie* hat der Kampf dem Leib-Seele-Problem mit der Hartnäckigkeit, ja zeitweise Erbitterung gegolten, die wir in der Regel als das Signal dafür ansehen können, daß ein im tiefsten Grunde unlösbares Problem vorliegt.

Eine geschichtliche Zusammenstellung der seit mehr als zweitausend Jahren hin und hergehenden philosophischen Meinungen bis heute liegt ganz außerhalb meines Rahmens; sie würde auch unsere Erkenntnis wenig fördern. Es sind in zahlreichen Formulierungen und Verkleidungen nur wenige mögliche grundsätzliche Betrachtungsweisen, mit denen das Problem zu lösen versucht wird. Spiritualismus und Materialismus, Dualismus und Monismus, psychophysischer Parallelismus, Energetik usw. enthalten bei aller formalen Verschiedenheit der Behandlung immer dieselben wenigen gegensätzlichen Anschauungen, wie sie der Natur des Problemes je nach dem Standpunkte des Beschauers entsprießen. Der nicht schulmäßig zur Philosophie Eingeschworene hat dabei trotz aller Hochachtung vor dem angewendeten Scharfsinn das unbehagliche Gefühl, zusehen zu müssen, wie man versucht, einen eisernen Schrank ohne Schlüsselloch mit Schlüsseln zu öffnen; noch sind bisher dabei alle Schlüssel abgebrochen.

Die *naturwissenschaftliche Betrachtungsweise* ist bescheidener; sie strebt nicht nach Einsicht in die tiefsten Gründe; sie versucht keine Deutungen des dunklen Sinnes; sie beschränkt sich auf die Feststellung von *Tatsächlichkeiten*.

Jede Betrachtung des Leib-Seele-Problems gerät auf eine schiefe Ebene, wenn wir ausschließlich von dem Standpunkt des *menschlichen* Seelenlebens her ausgehen; fruchtbarer ist eine ganz von außen her an die Sache herantretende Beobachtung, etwa von dem Standpunkt eines außerhalb des Erdballs stehenden Beschauers aus.

Er würde zunächst bei genügender Intelligenz bewegliche und dauernd ruhende Bestandteile der Erdoberfläche wahrnehmen; er würde aber von außen her, auch wenn ihm der Begriff des Psychischen geläufig ist, nicht ohne weiteres zu sicheren Meinungen darüber kommen, welche der bewegten Dinge beseelt sind. Tatsächlich kennen

wir auch als Erdbewohner unbeseelte und beseelte Bewegungsvorgänge, die äußerlich ganz gleich aussehen. Wenn Pflanzen sich zur Sonne kehren und nachts ihre Blüten schließen, wenn Spermatozoen in einer Flüssigkeit in Scharen auf das mit einem chemischen Stoff gefüllte Glasröhrchen hin zusammeneilen, wenn die Tauben auf dem Markusplatz auf das Auswerfen einer Handvoll Erbsen konzentrisch zusammenfliegen, wenn Kommunisten ein Gefängnis stürmen, oder wenn im Weltkriege Millionenheere sich gegenseitig zu töten versuchen, so ist aus dem äußeren Anblick allein kein Schluß daraus zu ziehen, ob dabei seelisches Leben abläuft oder nicht. Man versteht, wie der Gedanke auftauchen konnte, daß das, was wir psychisches Geschehen nennen, ein *Epiphänomen*, eine sachlich überflüssige Zugabe zu den materiellen Vorgängen, bedeute.

Auch wir, die wir mit unserem Selbstbewußtsein mitten im Strome des seelischen Lebens darin zu stehen meinen, sind für das, was in anderen Wesen psychisch geschehen mag, auf Schlüsse angewiesen. Gegenüber den Geschöpfen von einer uns gleichen Organisation, den Mitmenschen, ist für uns überzeugend unsere Fähigkeit, uns in sie einzufühlen, ihr Tun vorauszusagen und die Möglichkeit einer Verständigung von Geist zu Geist. Für alles, was an Wesen unterhalb unseres psychischen Niveaus existiert, sind wir auf Analogieschlüsse angewiesen, die umso unsicherer werden, je tiefer wir in der Reihe der Strukturen abwärtssteigen.

Die tiefsten Formen, die aber schon mit Nervenbahnen ausgestattet sind, zeigen nur den Vorgang des *Reflexes*, d. h. irgendeiner Reaktion auf äußeren Reiz. Dieser Reflexvorgang bleibt bis zu den höchsten Entwicklungsformen hinauf die Grundlage aller Seelenvorgänge, nur mit dem Unterschiede, daß sich zwischen Reiz und Reaktion immer kompliziertere Vorgänge einschieben. Am überzeugendsten für uns in dem Sinne, daß in einem fremden Wesen etwas Psychisches sich abspielt, ist das Vorkommen von *Wahlakten*, d. h. die Loslösung der Form der Reaktion von dem äußeren Reiz, und die Beobachtung einer langen *Nachdauer des Reizes* in Form verzögerter Reaktion.

Im ganzen gilt das Gesetz, daß es ein *heimliches* seelisches Leben nicht gibt; *alles, was ist, wirkt* in irgend einer Form nach außen und wirkt nach Maßgabe des Ausbaues seiner inneren Möglichkeiten. Existierten abgeschiedene Geister der vielen Milliarden Gestorbener dieses Erdballes, so würden wir alle und nicht nur einige gläubige Phantasten ihre Auswirkungen fühlen. Auch das „Seufzen der stummen Kreatur" ist nur ein dichterisches Bild; wenn die stumme Kreatur uns etwas zu sagen hätte, so würde sie es tun.

Von diesem Gesichtspunkte aus bedarf die behauptete Existenz sprechender Hunde und rechnender Pferde keines Wortes der Erörterung.

Die Frage, *wie weit* in der Reihe der belebten Wesen abwärts etwas von psychischem Geschehen anzunehmen sei, ist für uns unlösbar; wahrscheinlich gibt es überhaupt keine Grenze, sondern seelisches Leben ist, wenn auch in kümmerlichster Form, ohne weiteres und immer mit dem Dasein organischer, organisierter Materie gegeben; der Abstand, der zwischen den Seelenvorgängen in einem Regenwurm und in dem strahlenden Gehirn von Imanuel Kant in die Erscheinung tritt, ist zwar riesengroß; es ist aber doch nur die Frage der Quantität und der Differenzierung.

Ob die Möglichkeit seelischen Lebens an das Vorhandensein *bestimmter chemischer Verbindungen* gebunden ist, wissen wir nicht; wahrscheinlich kommt es sehr viel mehr auf eine bestimmte *Strukturanordnung* des Gewebes, speziell des Nervengewebes an. Für das menschliche Geistesleben zweifelt heute niemand daran, daß es mit dem Besitze des Gehirnes unlösbar verbunden ist, und daß im großen und ganzen seine individuelle Feinheit und Vielfaltigkeit in gesetzmäßigen Beziehungen zu der persönlichen Art der Hirnstruktur steht. Im philosophischen Sinne ist dabei das materielle Hirngeschehen *Bedingung*, aber *nicht Ursache* des geistigen Lebens.

Die unbestreitbare Tatsache, daß unter den jetzt den Erdball bewohnenden Wesen der Mensch die am feinsten differenzierte Hirnstruktur und Geistesstruktur besitzt, darf uns nicht dazu verführen, zu glauben, daß damit die Möglichkeit der *Weiterentwicklung* abgeschlossen sei. Der Menschengeist ist derzeit *Krönung* der geistigen Entwicklung, aber *nicht Abschluß*. In der langen, nach unten hin sich im Dunkeln verlierenden Reihe der Entwicklung bedeutet der augenblickliche Menschenzustand auch nur eine *Episode*, eine Stufe in einem Fortschreiten zu höheren Ebenen, dessen Ende für uns noch weniger abzusehen ist, als der Anfang.

Diese Betrachtungsweise rückt den ganzen Gegenstand aus der Enge hinaus, in den die landläufige anthropozentrische Auffassung ihn gestellt hat.

Wenn es sich nach diesen grundsätzlichen Vorbemerkungen darum handelt, für den heutigen Zweck einige Fragen aus dem großen Gebiete des Leib-Seele-Problems herauszugreifen, so möge uns zunächst die Erwägung beschäftigen, *inwieweit und nach welchen Richtungen das Bild der geistigen und der materiellen Welt, wie es für uns Menschen sich darstellt, von unserer derzeitigen Hirnstruktur abhängt.*

Die Existenz dessen, was wir unter dem Namen *„geistige Welt"* zusammenfassen, ist uns eine subjektive Sicherheit; wir operieren mit diesem Begriffe, wie mit etwas Greifbarem; wir sprechen von „Zeitströmung", von der „Seele des Volkes", von dem „Geist der Antike", von dem „Sinn der Geschichte." In welcher Weise existiert diese von uns als Realität, als meßbare, bestimmbare Größe genommene geistige Welt?

Zunächst einmal ist uns meist nicht mit genügender Schärfe gegenwärtig, *ein wie kleiner*

Ausschnitt der geistigen Welt, die einmal war, uns zugänglich ist. Was wollen diese wenigen Jahrtausende, von denen wir rückwärts allenfalls Kunde haben, bedeuten, gemessen an den vielleicht Jahrmillionen betragenden Zeiträumen, in denen schon für Menschen eine geistige Welt existierte? Selbst aus der noch als historisch anzusprechenden Zeit geben dort, wo sie sich in der Dämmerung der Vorzeit verliert, nur wenige ragende Dokumente Zeugnis von dem, was irgendwo oder irgendwann einmal Geistiges für Menschen bedeutete. Und auch diese Betrachtung ist nicht zu umgehen, daß der ganze Reichtum, den die geistige Welt haben mag, in nichts verschwinden wird, sobald das letzte Hirn eines denkenden Wesens mit dem Ende des Erdballs, gleichviel wie es erfolgen mag, ausgelöscht sein wird.

Und auch in der *Gegenwart* ist eine geistige Welt vorhanden nur *„insofern als"*. Niemals ist sie als Ganzes da; immer und überall besteht sie nur insofern, als sie als Besitz der einzelnen geistigen Persönlichkeit eine Existenz führt; immer entsteht sie neu in neuen Gehirnen und verschwindet mit ihnen. Nur die Tatsache, daß sie in vielen Millionen gleichgebauter Hirne eine in vielen Punkten übereinstimmende Existenz besitzt, bewirkt, daß sie für praktische Zwecke mit genügender Sicherheit als etwas Reales genommen werden kann. Es ist ein grandioses Bild, wie diese Welt des Geistigen über die Jahrtausende hin als *Gehirnphänomen* ihr eigenes Leben führt, vermittelt durch Wort, Schrift, Symbol — Zeichen, die an sich gar nichts bedeuten, die immer nur für einen kleinen Kreis von Menschen etwas bedeuten können und keinen geistigen Inhalt haben für den, der sie nicht zu deuten weiß. Das Dasein einer realen geistigen Welt gehört somit zu den *gesetzmäßigen Illusionen*, an denen unser Dasein so reich ist: sie ist nirgends und niemals und doch in jedem Augenblick vorhanden, so lange es Menschen gibt; sie ist nicht lokalisierbar und doch wieder örtlich gebunden; denn *meine* geistige Welt — für mich der einzige sichere Besitz, den ich habe — welchselt ihre Stelle mit mir; sie war gestern auf dem Bodensee und ist heute in mir vor diesem Rednerpult.

Die Frage, wie weit eine *materielle Welt* existiert und welche Form sie haben möge, gehört zu den ältesten philosophischen Streitgegenständen und ist vom naiven Materialismus bis zum Solipsismus in verschiedener Art beantwortet worden.

Tatsächlich zweifelt kein vernünftiger Mensch daran, daß die materielle Welt nicht nur darin besteht, daß jemand sie denkt; die schärfste erkenntniskritische Betrachtungsweise kann nur sagen: ich weiß nicht, ich kann und werde nie wissen, wie sie *an sich* sein mag; ich kann von ihr nur das wahrnehmen, was meine Sinnesorgane erregt, und ich kann sie in systematischer Form nur nach Maßgabe der in mir bereitliegenden systematischen Kategorien (Raum, Zeit, Kausalität) auffassen. Unser Interesse hier im Augenblick gilt der Frage, welchen Einfluß die uns derzeit zur Verfügung stehenden Organe auf die *Gestaltung* dessen ausüben, was wir als Weltbild bezeichnen; wir wollen auch hierbei den anthropozentrischen Standpunkt verlassen.

Von außen her sehen wir im Weltall ein materielles Geschehen von einer uns ganz unübersehbaren Fülle von Bewegungsformen oder sonstigen Vorgängen, deren Wesen uns größtenteils ein Rätsel ist, denen die Physik mit scharfsinnigen Methoden ihre Lösung abzutrotzen sucht.

Da hinein ragt nun ein *menschliches Bewußtsein*, gebunden an eine körperliche Organisation, deren Oberfläche für Reize von außen in eigentümlicher Weise im Laufe der Entwicklung empfindlich und empfänglich geworden ist, eine Organisation, die mit unseren derzeit fünf Sinnesorganen die vorläufige Krönung einer Reihe primitiverer Formen bedeutet. Zufällig fünf Fühlfäden streckt unser Bewußtsein in die Außenwelt, aus deren Bewegungsvorgängen es sich einiges wenige herausfischt, und sich daraus das zurecht macht, was wir heute Weltbild nennen. Selbst im Rahmen des einzelnen spezifisch abgestuften Sinnesorgans ist der für uns zugängliche Abschnitt nur eine Teilstrecke in einer langen Reihe von Möglichkeiten; von den Schall- und Lichtwellen nehmen wir nur eine bestimmte Wellenlänge wahr.

Für praktische Lebenszwecke genügt — mit einigen Vorbehalten — im groben die Übereinstimmung unseres inneren Bildes mit den äußeren Dingen. Wie unzulänglich aber diese Übereinstimmung doch ist, zeigt der wissenschaftliche Entwicklungsgang, der in zunehmendem Maße Unstimmigkeiten aufgedeckt hat.

Wir haben keine Ahnung davon, welche Sinnesmöglichkeiten uns *fehlen*; wir können davon uns so wenig ein Bild machen, wie der Blinde von der Lichtempfindung; es ist durchaus unwahrscheinlich, daß die Entwicklung der organischen Welt bei unseren zufällig fünf Sinnen Halt machen sollte; es ist im Gegenteil wahrscheinlich, daß irgendwelche fernste Enkel sieben oder zehn oder wer weiß wieviel Sinnesqualitäten besitzen und damit ein sehr viel reicheres und ganz andersartiges Weltbild in sich tragen werden. Es ist diese Betrachtung keineswegs phantastisch, sondern nur das konsequente Weiterverfolgen einer Linie in das Unbekannte hinein, deren sichtbarer Teil vor unseren Augen rückwärts erkennbar ist.

Dem *naiven Denken* ist diese Betrachtungsweise verschlossen, dem naiven Denken, welches durch Bildung nicht ausgeschlossen wird, und dem es schwer anschaulich zu machen ist, daß Licht und Schall in der Außenwelt überhaupt nicht existieren, daß vielmehr nur irgendwelche Bewegungsvorgänge da sind, die in unserem Bewußtsein die subjektiven Zustände von Licht- und Schallempfindung auslösen, ohne daß damit irgend etwas über die Gleichartigkeit des äußeren und inneren Geschehens ausgesagt wäre. Von dieser Einsicht aus steht dem gar nichts im Wege, sich Organisationen vorzustellen, für welche die

uns jetzt als Licht erscheinende Wellenbewegung eine Schallempfindung und die jetzt unsere Hörnerven erregenden Schallwellen eine Lichtempfindung erzeugten, Geschöpfe, für die etwa die Sonne ein dauernder heller Trompetenton und der Donner ein rasch flackernder Wechsel von hell und dunkel sein würde.

ERNST V. BÄR, der Entdecker des menschlichen Eies, hat einmal in geistvoller Weise ausgeführt, inwiefern eine Änderung unseres Tempos der Wahrnehmung unser Weltbild beeinflussen würde, wie wir bei der Änderung in der einen Richtung Pflanzen wie einen Springbrunnen vor uns aufschießen sehen würden und bei einer Änderung in der anderen Richtung etwa im Laufe eines Menschenlebens nur eine einzige Mondphase zu sehen bekämen, bis wir bei weiterer Steigerung schließlich Tag und Nacht nur noch als ein hastiges Flimmern wahrnehmen würden[1]). Unsere Betrachtungsweise von der Relativität unserer Sinnesqualitäten ergänzt dieses Bild nach der anderen Seite hin.

Wer diese Betrachtung als eine reizvolle, aber doch müßige Spielerei betrachtet, kommt doch an der anderen ernsten Frage nicht vorüber: *wie kommt das an einen Organismus gebundene Bewußtsein überhaupt dazu, die Veränderungen seiner Sinnesorgane auf etwas außer ihm Befindliches zu beziehen?*

Sicherlich gibt es bei den tiefen Entwicklungsstufen Bewußtseinsformen, die nur dumpfe Wahrnehmungen von Zustandsänderungen der Körperoberfläche erleben. Es hat keine Schwierigkeiten, sich auch ein höher entwickeltes Bewußtsein vorzustellen, das nur einen bunten Wechsel von Veränderungen seiner *Peripherie* wahrnähme, ohne daß daraus eine Außenwelt entstünde, ein Bewußtsein, welches also registrierte, daß im Auge, im Ohr, an der Haut wechselnde Zustände sich abspielten und sich damit zufrieden gäbe. Auch für das Bewußtsein des geistig vollentwickelten Menschen gehen nebeneinander her Eindrücke von peripheren Veränderungen, die wir auf ein Äußeres beziehen und solche, die wir als dem Körper selbst angehörige Vorgänge zu trennen gelernt haben. Es ist eine seltsame Vorstellung, die aber nichts in sich Widersprechendes hat, sich den Erdball bevölkert zu denken mit Wesen, die zahlreichen wechselnden Eindrücken ausgesetzt sind, ohne doch zu einem Weltbild oder auch nur zu der Vorstellung von Welt überhaupt zu kommen.

Es war ein *gewaltiger Abschnitt* in der Quantität und Qualität der auf dem Erdball sich abspielenden Vorgänge, als in lebenden Wesen ein Weltbild entstand, weil sie anfingen, eigene Zustandsänderungen auf äußeres zu beziehen; da begann die Entwicklung, die in unendlich langen Zeiträumen dazu führte, daß die Natur sich aus ihrem eigenen Material einen Spiegel erschuf, ein Organ zur Auffassung ihrer selbst.

Erklärungsversuche für diesen Bewußtseinsakt, den ich als *Projektionszwang* bezeichne, haben wenig Zweck; wir müssen die Tatsache hinnehmen und dürfen wohl vermuten, daß der Zwang, gewisse Zustandsänderungen der Peripherie auf etwas Äußeres zurückzuführen, gleichzeitig mit dem Auftreten höherer bewußter Vorgänge erschien. Die Außenwelt hat ja die Sinnesorgane geschaffen, gewissermaßen hervorgelockt aus den Strukturmöglichkeiten der Organismen. Organisierte Körper hätten von sich aus ohne die äußeren Reize keine Sinnesorgane hervorgebracht, und so wird Schritt für Schritt mit der immer feineren Differenzierung der Sinnesendfläche auch die Nötigung zur Projektion nach außen entstanden sein.

Der Projektionszwang, der uns zur zweiten Natur geworden ist, verschafft uns die fortgesetzte Illusion einer realen Welt, eine Illusion, der sich nur das geschulte Denken mit Mühe entziehen kann; er schafft aber auch die *Welt des Geisteskranken*, eine gefälschte Welt, die anders aussieht, als die der Majorität seiner Mitmenschen. Das Phänomen der Sinnestäuschungen der Geisteskranken in ihrer Überzeugungskraft für das Bewußtsein des Betroffenen ist nur aus dem Projektionszwang zu verstehen. Diese Betrachtungsweise ist wichtig, weil wir vielfach psychologische Zusammenhänge in der Verzerrung des Krankhaften durchsichtiger finden, als im normalen Zustande. Unser Bewußtsein, welches genötigt ist, diejenigen Reize, die uns von außen treffen, nach außen zu verlegen, *kann* gar nicht anders, als diesen Akt auch dann zu vollziehen, wenn auf den ihm gewohnten Sinnesbahnen Eindrücke ankommen, die nicht der Außenwelt, sondern einem Reizzustande der Leitungsbahn selbst ihre Entstehung verdanken. Der Geisteskranke, der Worte hört, die niemand gesprochen hat, hört sie in derselben überzeugenden Realität wie ein Geistesgesunder die Gespräche oder Zurufe seiner Umgebung, und er besitzt nicht einmal, wenn er intelligent oder einsichtig genug ist, seinen Zustand kritisch zu beurteilen, irgend eine Handhabe, um aus seinen subjektiven Wahrnehmungen selbst eine Unterscheidung realer und subjektiver Nachrichten zu vollziehen. Er kann allenfalls — und das geschieht auch, namentlich im Beginn von Geistesstörungen — auf dem Wege der Schlußfolgerung aus *anderweitigen* begleitenden Umständen dazu gelangen, seine Trugwahrnehmungen *nicht* zu verwerten, sie nicht in sein Weltbild einzutragen; aber die Trugwahrnehmung *selbst* unterscheidet sich *nicht* von der Realität.

Wir haben in diesem Projektionszwang einen durchaus elementaren, allgemeinen und bis zur

[1]) Der während der Innsbrucker Tagung vorgeführte *Pflanzenfilm* der Badischen Anilin- und Sodafabrik brachte das Bärsche Phantasiebild in höchst überraschender Weise zur Anschauung: photographische Aufnahmen wachsender Pflanzen in Abständen von 10 Minuten, kinematographisch zusammengedrängt, ließen vor unseren Augen Pflanzen keimen, wachsen, blühen und welken — eine höchst anschauliche Aufhebung der Zeit.

Unentrinnbarkeit zwingenden Vorgang vor uns, der in seiner strengsten Gestalt zunächst nur für die Leitung der Sinneswahrnehmungen gilt.

Es wäre merkwürdig, wenn wir ihm bei der weitgehenden Analogie zwischen den verschiedenen geistigen Vorgängen in uns nicht auch sonst begegneten. Tatsächlich treffen wir *Projektionsdrang, Projektionsneigung,* oder wie man es nennen will, *überall* in unserer Psyche.

Die Projektion unserer Denknotwendigkeiten in Sachzusammenhänge schafft Raum, Zeit, Kausalität und ebenso die Logik. Die Projektion unserer subjektiven Bedürfnisse in das Vorstellungsleben schafft die Religion, und auf diesem Gebiete schafft die Projektion des Angstgefühles und des Schutzbedürfnisses verletzlicher Wesen in das Unbekannte hinein die Welt der Götter. Die Projektion des Selbsterhaltungstriebes, dieses elementarsten und höchsten Dranges der unbeseelten und der beseelten Materie in die Zukunft hinein schafft den Unsterblichkeitswunsch und den Unsterblichkeitsglauben. Die Projektion eines starken Gefühls in die Sphäre des Handelns schafft den kategorischen Imperativ des „Du sollst." Die Projektion unseres Bedürfnisses nach Ordnung in Denkzusammenhänge schafft die philosophischen Systeme, und in ihnen wieder nehmen wir wahr, wie die Projektion der subjektiven Stimmung der einzelnen Philosophen ihr System in seiner Eigenart schafft, wie die trübe Dauerstimmung Schopenhauers die Philosophie des Pessimismus erzeugt, und wie gläubiger Optimismus anderer das hervorbringt, was heute als Wertphilosophie verkündigt wird.

Wiederum zeigen uns *krankhafte* Verhältnisse die bezwingende Wirkung des Projektionszwanges außerhalb der Sinnesbahnen in überzeugender Reinheit. Bei bestimmten Formen von Geistesstörung ist das Primäre ein verändertes Eigengefühl des Kranken, durch welches in wahnhafter Weise die Außenwelt in ihren vermeintlichen Beziehungen zu dem Erkrankten verändert wird.

Noch an einem anderen Punkte treffen die Fragen, die das Leib-Seele-Problem umkreisen, in besonders charakteristischer Weise zusammen, das ist die *Frage nach dem Wesen des Ich.*

Wenn von einem Ich die Rede ist, so denken wir dabei zunächst an unser *körperliches,* in der bürgerlichen Welt existierendes Ich.

Der unbefangene Mensch ist geneigt, dieses körperliche Ich als eine auf gewisse Zeiträume hin sich gleichbleibende Größe zu betrachten, wenn er auch weiß, daß er im Laufe der Jahre die Unsumme der Veränderungen durchmacht, die ihn vom Knaben zum Greise werden lassen. Nicht einmal für kürzeste Fristen ist das körperliche Ich in sich selbst gleichbleibend. Fortgesetzt werden Bestandteile durch Atmung, von der Haut, vom Darm abgestoßen und in gewissen Zwischenräumen in den Mahlzeiten wieder ergänzt. Die Vermutungen, die in der Literatur eine Rolle spielen, daß nach einer bestimmten Anzahl von Jahren der menschliche Organismus in *allen* seinen Teilen vollkommen erneuert sei, ist ungenügend begründet; wir wissen darüber nichts ganz Sicheres. Die Möglichkeit ist nicht zu bestreiten, daß einzelne chemische Bestandteile, chemische Gruppen lebenslänglich nicht ausgewechselt werden; dies kann aber nicht gelten für diejenigen Körperteile, die in lebhafter Funktion begriffen sind. Im großen und ganzen sind die Vergleiche zutreffend, die unseren Körper in Analogie setzen zu einem Wasserstrahl, zu einer Gasflamme, zu einer Wolke — Gebilde, in denen bei äußerlich in den Umrissen gleichbleibender Gestalt ein fortgesetzter Wechsel der Bestandteile stattfindet. Wir ändern uns langsam, aber nach einiger Zeit doch sehr merkbar, in bezug auf unsere Länge, unser Gewicht, unsere Farbe und die Konsistenz unserer Gewebe, und wenn man sich fragt, *was* denn das ist, was wir nach jahrzehntelanger Trennung an einem Menschen *wiedererkennen,* so dürfen wir sicher sein, daß in seiner äußeren Erscheinung *nichts* mehr von der Materie vertreten ist, die für uns früher seine Erscheinung zusammensetzte; was wir wiedererkennen, ist gewissermaßen die *Idee* dieses Menschen, d. h. eine Kombination charakteristischer Züge in Haltung, Ausdruck, Bewegung, Stimmklang usw. Es wäre eine reizvolle Aufgabe, in der Art des vorhin erwähnten Pflanzenfilms von einem Menschen jeden Tag eine Aufnahme zu machen und dann seine Entwicklung über ein halbes Jahrhundert hin, kinematographisch auf fünf Minuten komprimiert, an sich vorbeiziehen zu lassen. Der Eindruck eines sich gleichbleibenden körperlichen Ichs würde in der anschaulichsten Weise als Illusion erkennbar werden.

An diesem dauernden Austausch von Substanz beteiligt sich natürlich in hervorragendem Maße der Träger des geistigen Lebens, das *Gehirn.*

Die Strukturelemente, die das Gehirn in spezifischer Weise auszeichnen, ändern sich der *Zahl* nach von den Kinderjahren bis zum Tode normalerweise nicht; wohl können durch krankhafte Prozesse Nervenzellen zu Grunde gehen; aber eine *Neuschaffung* findet, nachdem die kindliche Entwicklung abgeschlossen ist, nicht mehr statt. Man schätzt die Zahl der Ganglienzellen eines durchschnittlich ausgestatteten Gehirnes auf 600 Millionen, so daß ein Ehepaar zusammen fast so viele Ganglienzellen besitzt als die Erde Bewohner. In dem Gleichbleiben dieser Zellenzahl und der ungenügenden Fähigkeit des Gehirnes zur Neuschaffung besteht ein sehr beachtenswerter Unterschied gegenüber anderen Organen, speziell etwa der Haut, obgleich gerade diese entwicklungsgeschichtlich denselben Ursprung hat, wie das Nervensystem.

Natürlich müssen wir annehmen, daß bei dem Ablaufe der geistigen Prozesse eine starke und rasche *Auswechslung* der kleinsten Bestandteile in den Hirnzellen stattfindet. Wenn das Gehirn

trotzdem in seiner Struktur im groben sich gleichzubleiben scheint, so ist das dieselbe Täuschung, als wenn ein Münsterturm genau die gleichen Linien nach tausend Jahren noch aufweist, auch wenn nach und nach zu verschiedenen Epochen seine sämtlichen Sandsteine ausgewechselt worden sind.

Je nach der Auffassung, die man von den Beziehungen zwischen Materie und Psyche hat, kann man sich das *geistige Ich* ebenso wohl als ein Sichgleichbleibendes wie ein Ewigwechselndes vorstellen.

Das naive Denken, Religion, Philosophie und Ethik rechnen mit dem Ich wie mit einer *konstanten Größe*.

Was ist daran?

Wenn irgendwo, so sind wir für die Prüfung des Ichbegriffes auf unsere Selbstbeobachtung angewiesen, und nirgends sind wir mehr Irrtümern der Beurteilung ausgesetzt.

Zunächst entdecken wir in uns ein *Ichgefühl*, einen nicht weiter zu zerlegenden Tatbestand; dieses Ichgefühl ist der ständige Begleiter jedes unserer seelischen Vorgänge; es gibt allen meinen psychischen Regungen die Eigenschaft, die ich mit dem Adjektiv „mein" bezeichne: mein Gefühl, meine Vorstellung, mein Wille. Sicher ist dieses auch dem unbefangenen Denken in bezug auf alle *körperlichen Ichgefühle*, die sich aus der Summe der Nachrichten von Hautoberfläche und inneren Organen zusammensetzen.

Das *Ichgefühl geistiger* Art ist nicht an sich, losgelöst von irgendwelchen Inhalten, vorhanden; seine Existenz ist vielmehr in untrennbarer Amalgamierung ein Bestandteil jeder Art geistiger Prozesse, mögen sie noch so verschiedenartig sein. Dieses Ichgefühl ist also nicht geeignet, ein Ich an sich zu bilden.

Unter dem Ich in diesem Sinne haben wir etwas anderes zu verstehen: ein *Ichbewußtsein*, d. h. eine bewußte Zusammenfassung aller unserer körperlichen und geistigen Beziehungen zu einer Einheit, die das einzige ist, was uns auf der Welt wirklich sicher zu sein scheint, die uns als kontinuierlich und der Hauptsache nach auch als gleichbleibend erscheint.

Dieses ist das eigentliche Ich, mit dem die Philosophie operiert.

Es ist nicht identisch mit dem Begriffe des Selbstbewußtseins, auch nicht identisch mit dem, was wir als Charakter bezeichnen, d. h. der habituellen Reaktionsform unseres Ich auf äußere und innere Anstöße.

Dieses Ich ist eine Illusion, deren Entstehung sehr wohl durchschaut werden kann. Zunächst einmal ist ersichtlich, daß eine wirkliche Kontinuität dieses Ichs nicht besteht; Ohnmacht, Rausch, epileptischer Anfall und normaler Schlaf unterbrechen sie immer wieder. Namentlich beim Aufwachen aus tiefem Schlafe kann man beobachten, wie wir die einzelnen Bestandteile unseres uns inzwischen abhanden gekommenen Ich gewissermaßen wieder zusammenkratzen müssen, wie wir zunächst nur ein dumpfes Bewußtsein überhaupt in uns vorfinden und erst allmählich uns unserer Person, unserer Beziehungen zur Welt, des Raumes und der Zeit und unserer derzeit beherrschenden Vorstellungsgruppen bewußt werden. Die Lücken, die sich so immer wieder zwischen die einzelnen Akte des Bewußtwerdens unseres Ichs einschieben, ignorieren wir, ebenso wie wir in der optischen Wahrnehmung den blinden Fleck, der die Kontinuität unseres Sehfeldes unterbricht, ignorieren. Wir tun vor uns selber so, als ob das Ich rückwärts eine gleichmäßig laufende Linie wäre, während es tatsächlich nur im Bilde einer Leiter mit Sprossen und Zwischenräumen gesehen werden kann.

Das Ich besteht aus *Schichten*, die aufeinander folgen, und die für uns durch eine gesetzmäßige Täuschung zu einer Einheit verschmolzen werden.

Die einzelnen Bestandteile dieser Täuschung sind aufzeigbar.

Ihre wichtigste ist unsere Fähigkeit, frühere Seelenzustände in uns *wieder zu erwecken* und sie als unsere eigenen zu erkennen.

Ohne diese Eigentümlichkeit des *Gedächtnisses* würde von einem in uns historisch gewordenen Ich überhaupt nicht die Rede sein. Auch hier liefert uns die Pathologie überzeugende Beispiele; die Natur macht gelegentlich unter bestimmten Voraussetzungen das Experiment, daß sie einem Menschengehirne die Fähigkeit nimmt, neue Eindrücke festzuhalten und zu reproduzieren (Verlust der „Merkfähigkeit"). Solche Kranke, bei denen die Bewußtseinshelligkeit und die Intelligenz nicht weiter gestört zu sein brauchen, leben dem Augenblick; was vor zehn Minuten oder vor einer Stunde war, existiert nicht mehr für sie; ihr Ich ist das, was es im Momente bedeutet.

Es hat für die Vorstellung keine Schwierigkeiten, ebenso wie wir imstande sind, uns ein Bewußtsein ohne Projektionszwang vorzustellen, uns das Bild eines Ich entstehen zu lassen, wie es *ohne jeden Besitz der Reproduktionsfähigkeit* aussehen würde. Dieses Moment-Ich wäre ein Spielball des körperlichen Empfindungsganzen mit all seinen Qualitäten von Behagen und Unbehagen, Lust und Unlust; es bedeutete die Summe der im Augenblick vorhandenen seelischen Zustände ohne jede bewußte Nachwirkung früheren geistigen Geschehens und zweifellos ohne ein Ichbewußtsein im Sinne derjenigen, die frühere seelische Zustände in sich wiedererwecken können.

Eine *zweite* Quelle der Täuschung liegt in dem *Bekanntheitsgefühl*, das unsere reproduzierten Seelenzustände der Vergangenheit begleitet; dieses Gefühl ist durchaus nicht ein selbstverständlicher Besitz; wir können uns Organisationen denken, bei denen früheres geistiges Geschehen bewußt wird, ohne daß es die Qualität des Bekannten mitbrächte. Daß dieses Bekanntheitsgefühl etwas Selbständiges und nichts der Erinnerung *an sich* Anhaftendes ist, zeigen die Beobachtungen an Kranken, bei denen Zustände, die früher nicht

vorhanden waren, als bekannt empfunden und registriert werden („déjà vu"), ebenso wie diejenigen Fälle, die man als Spaltung der Persönlichkeit beschrieben hat, bei denen Bewußtseinsinhalte als nicht dem eigenen Ich zugehörig empfunden werden.

Die *dritte* Quelle der Täuschungen liegt darin, daß wir nur unvollkommen die *Wandlungen* bemerken, die eigene frühere Zustände im Laufe der Zeit und sogar schon nach kurzer Zeit, z. B. während eines Nachtschlafes in uns erfahren. In überzeugender Weise kommt dies dem Gesunden zum Bewußtsein, wenn er z. B. in eigenhändigen alten Briefen mit seinem Ich, das er für gleichbleibend hielt, nach Jahrzehnten konfrontiert wird.

Die von der Natur angestellten Krankheitsexperimente in unserem Gehirn zeigen dies dem Arzte noch sinnfälliger, so wenn vor unseren Augen bei der progressiven Paralyse ein Ich weitgehend verändert wird, ohne daß der Träger der kranken Geistesstruktur etwas davon bemerkt, oder wenn die Patienten mit zirkulären Geistesstörungen, bei denen gehobene und gedrückte Phasen miteinander abwechseln, so lange sie im Bereich der einen Phase stehen, nicht zugeben wollen, daß sie jemals anders als jetzt gewesen sind.

Auch das *Ich der Gegenwart* ist kurzfristigen, starken Wandlungen unterworfen; es ist verschieden zu verschiedenen Tageszeiten, im Zustande der körperlichen oder seelischen Ermüdung, im Fieber, im Rausch, im Traume, in epileptischen Dämmerzuständen und am meisten charakteristisch in den zweifellos vorkommenden Zuständen des doppelten Ichbewußtseins.

Wer sich selbst zu beobachten imstande und *geneigt* ist — diese Fähigkeit ist keineswegs Allgemeinbesitz — erlebt auch in bezug auf sein eigenes Ich die merkwürdigsten Überraschungen. Wir alle haben dunkle Winkel im Ich, wir haben Verschläge, in die wir nur ungern hineinleuchten, und wer wir *sind*, erfahren wir eigentlich erst aus unseren Handlungen, oft zu unserer eigenen Überraschung, jedenfalls nicht aus unserer bloßen Meinung von unserem Ich.

Alles in allem gilt: *das Ich als eine kontinuierlich sich erstreckende, gleichbleibende Größe ist das Ergebnis einer Selbsttäuschung.*

Wir sind ein *Schauplatz*, auf dem sich schichtenweise allerhand Vorgänge abspielen, die untereinander ähnlich und zum Teil gleich sind, weil sie mit einer gleichbleibenden Hirnstruktur zwangsläufig verkuppelt sind; die Reproduktion bringt uns verflossene Schichten des Ich in die Höhe, und vermöge einer regelmäßigen Täuschung halten wir sie für identisch; das ist alles, was von dem Ich übrig bleibt.

Meine Zeit ist abgelaufen; es ist nicht möglich, anderen Punkten des uferlosen Themas noch näher zu treten.

Die Formulierung, die ihm hier zuteil geworden ist, war sehr weise; die Leib-Seele-Frage wird *„Problem"* bleiben.

Wir befinden uns denselben grundsätzlichen Nöten gegenüber wie bei anderen mit Heftigkeit umstrittenen Fragen: Freiheit des Willens, Unendlichkeit der Welt, Wesen der Zeit u. a. m. Auch für das Leib-Seele-Problem wird möglicherweise, wenn es sich als unlösbar erweist, die Lösung darin zu finden sein, daß die Fragestellung falsch war.

Konstitution und Charakter.

Von HANS W. GRUHLE, Heidelberg.

Das Problem Konstitution und Charakter, besser körperliche Konstitution und seelische Struktur, ist nicht nur ein Problem der Wissenschaft, sondern in besonderem Grade eine Frage des gebildeten Laien. Ihm ist die Seele das Wesentliche, aber sie ist nicht sichtbar, nicht faßbar. Und so sucht er nach Hilfsmitteln, sie doch zu fassen, und greift zu der Anschauung: im Körper müsse sich doch die Seele gleichsam widerspiegeln. Es ist das alte Problem der Menschenkenntnis: die Symbolik der menschlichen Gestalt, die Physiognomik. In jeder Wissenschaftsphase stellt sich das Problem neu. Was sagt die heutige Naturwissenschaft dazu?[1])

Die Forschung haftet nicht an der äußeren menschlichen Gestalt, sie interessiert sich ebenso für den inneren Bau, für den Chemismus des Körpers. Und dieser letztere war das *erste* Objekt, auf das die Naturwissenschaft, soweit uns die Geschichte Aufschluß gibt, eingestellt war. Wir denken heute bei den alten Namen der Temperamente an Psychisches, doch deckten sie ursprünglich Körperliches. Es war die Krasenlehre der griechischen Antike, auf die Mischung der Säfte des Körpers gerichtet. Aus feucht und trocken, kalt und warm, bitter und süß mischt sich gleichmäßig das Blut, — so lehrt als erster im 6. Jahrhundert vor Christus ALCMÄON v. CROTON. Und wenn einer jener Autoren einmal Seelisches erwähnt, so ist ihm dies nur ein Symptom des Körperlichen. Träge und einfältig: das bedeutet schwarzer Galle Überfluß; enthusiastisch talentvoll, heftig begehrlich: dies läßt auf übermäßige gelbe Galle schließen. Und neben diesen seelischen Symptomen verraten auch Merkmale des Körperbaus den Biochemismus: Hagerkeit, dunkle Haut, düsterer oder leidender Blick, dies deutet nach GALEN auf ein melancholisches Temperament (150 n. Chr.). Die arabischen Ärzte, das Mittelalter bringen nichts wesentlich Neues. Aber von da ab verschiebt sich allmählich der Akzent: das *Seelische* interessiert und das Körperliche dient als

[1]) Hinweise und Literaturangaben sind einer späteren, ausführlichen Arbeit vorbehalten.

Hilfsmittel, das erstere zu fixieren. Schwarzes hartes Haar, dunkle Augen, gelbbraune Haut, mäßige Fülle, große Festigkeit des Fleisches, scharfe und ausdrucksvolle Gesichtszüge: das alles charakterisiert nach GALL (1758—1828) den Choleriker, d. h. jetzt nicht mehr die so und so geartete Krasis, sondern ein bestimmtes *psychisches* Temperament: Reizbarkeit, Lebhaftigkeit, Tätigkeit, Entschlossenheit usw. Also einer bestimmten Körperform ist ein bestimmtes seelisches Naturell zugeordnet. Dies wird dann in der Folge sehr kompliziert: KARL GUSTAV CARUS (1789—1869) hat 17 seelische Konstitutionen und 6 Temperamente. Was hält hiervon noch der Kritik moderner Forschung stand?

Eine Lehre, die einen großen Teil der heutigen Forscher beherrscht, lautet, daß Körperform oder Körperchemismus oder beides dem Menschen angeboren sei, als ein so hinzunehmendes Schicksal. Es gelte nun, die entsprechenden seelischen Verfassungen zu finden, mögen diese nun Folge sein, oder Begleiterscheinungen. Wenn man diese Meinung fürs erste einmal annimmt: *welche* Körperbautypen liefert dann die Konstitutionsforschung? Die Meinungen gehen noch weit auseinander. Einer gewissen Anerkennung erfreuen sich die Typen SIGAUDS: Überwiegen der Muskeln: Type musculaire, der Verdauungsorgane: t. digestif, der Brust: t. respiratoire, des Kopfes: t. cérébral, die letzten beiden Typen werden als leptosomer Typus auch zusammengefaßt. Wie nahe liegt nun der populäre Schluß, daß sich der Musculaire für grobe Arbeit interessiere, roh und wenig differenziert sei usw., daß der digéstif dem Bauche fröne usw. —, aber das sind Analogien, denen man in keinem Falle nachgeben darf. Wir wissen noch nichts näheres über solche Entsprechungen. VIOLA und NACCARATI haben versucht, eine ähnliche Einteilung in Normosplanchniker, Mikro- und Makrosplanchniker zu geben: der erste von mittleren Verhältnissen, der zweite mit Betonung der Vertikale, der dritte Typus mit breitem Rumpf, betonter Horizontale und kleinen Gliedern. Aber der Versuch, Beziehungen zur Intelligenz herauszufinden, in dem Sinne, daß die Intelligenz mit dem Verhältnis von Größe: Gewicht gleichsinnig wachse, begegnet noch sehr lebhaften Zweifeln. Man hat zwar die Entwicklung der Sprache zu Hilfe genommen und nachzuweisen versucht: wenn eine Sprache die Edlen des Reiches als die „Großen' zu bezeichnen pflege, so stecke dahinter mehr als ein Zufall: der körperlich Große sei nicht nur der äußerlich Imponierende, sondern tatsächlich auch der Mächtigere im Geist, und nicht umsonst hätten deutsche Stämme oft den körperlich Größten zum Herzog gewählt. Aber das alles ist nicht mehr als ein freundlich anmutender Einfall und entzieht sich exakter Nachprüfung. Wenn man vielmehr jenen abnormen Bildungen nachforscht, die man als eunuchoiden Hochwuchs bezeichnet, so finden sich zwar oft an Intelligenz und im Charakter mancherlei Anomalien, niemals aber irgendeine Einheitlichkeit gepaart. Und wenn man im Gegensatz dazu die echten Zwerge, d. h. korrekt gefaßt die Nanosomia primordialis, betrachtet, so ist ihre geistige Entwicklung oft weder infantil noch debil. Das Gleiche gilt von den chondrodystrophischen Zwergen. Aber noch von anderen Gesichtspunkten her wurden Körperbautypen geformt. Übersieht man einmal, wie unbestimmt BARTELS Typus hypoplasticus und dessen Unterform, PALTAUFS status thymicolymphaticus ist, glaubt man an STILLERS Habitus asthenicus als Konstitutionsphänomen, teilt man vorläufig einmal nicht FRIEDRICH MÜLLERS Skeptizismus, daß der phthisische Habitus größtenteils die Folge und nicht die Vorbedingung der Tuberkulose sei, so springt aus allen diesen Typen noch nichts für *unser* Problem heraus: niemand kann einigermaßen überzeugendes Material beibringen, daß diesen Körpertypen bestimmte seelische Verfassungen entsprechen. Wenn TANDLER behauptet, BOTICELLI sei Hypotoniker gewesen und daher auch Maler des Hypotonischen, MICHEL ANGELO Hypertoniker und daher auch notgedrungen Schöpfer des Hypertonischen, so ist das nichts weiter als ein liebenswürdiges bon mot. Aber von einem Autor sind Zusammenhänge aufgedeckt worden, die positive Entsprechungen enthalten. KRETSCHMER fand ein überaus häufiges Zusammentreffen (Korrelation + 0,841) von einem bestimmten Körperbau, den er als pyknisch bezeichnet, mit einer bestimmten heilbaren Gemütskrankheit, dem manisch-depressiven Irresein. Ungeformt schwerfälliger Rumpf mit vielem Fett, voluminöse Körperhöhlen, tiefer Brustkorb, kleiner dicker Hals, also ein Typus, der am ehesten dem Sigaudschen Typus apoplecticus und digestivus, Violas Makrosplanchnicus und BAUERS arthritischem Habitus entspricht. Indem nun KRETSCHMER das Gegenstück der beiden großen endogenen Psychosen, die Schizophrenie, auf ihren Zusammenhang mit Körperbauformen betrachtete, stellte sich ihm heraus, daß zwar hier kein einheitlicher Typus vorlag, daß aber immerhin der pyknische so gut wie ganz fehlte und statt dessen dysplastische, muskuläre (athletische), vor allem aber asthenische Gestalten vorherrschten. Insoweit wäre nur die Neigung gewisser Körperformen zu gewissen Psychosen wahrscheinlich geworden, KRETSCHMER aber ging weiter und glaubte nun auch seinen beiden Gruppen einen endogenen *Charakter* zusprechen zu können: Dem Pykniker (εὔκολος) sozial positive Neigungen: gesellig, gutherzig, freundlich, gemütlich, — dem Astheniker, Muskulären (δύσκολος) sozial negative Tendenzen: ungesellig, absonderlich, humorlos, ernsthaft, still, zurückhaltend. Diese letzteren Beziehungen zwischen Körperbau und Charakter sind noch umstritten, weniger auf der pyknischen Seite als besonders auf der schizoiden Seite. Jedenfalls entdeckte KRETSCHMER Sachverhalte, die nun der Deutung bedürfen. Und eine dieser Deutungen ist die Meinung, der Tübinger Forscher habe weniger Persönlichkeitstypen als vielmehr *Rasse*typen be-

schrieben: sein Pyknikus sei der Homo alpinus, und in seinen Schizoiden steckten im wesentlichen nordische, dinarische und sonstige Elemente. In der Tat enthalten jene Gebiete, in denen KRETSCHMER selbst und die von ihm Angeregten untersuchten, besonders viel alpinen Einschlag, und eine sächsische Nachprüfung ergab wesentlich weniger klare Verhältnisse. Aber auch dann wären die Kretschmerschen Untersuchungen interessant und positiv zu bewerten, wenn sie die Beziehung des Homo alpinus zu einem bestimmten Temperament und einer Psychose aufgedeckt hätten. Auch der Einfluß des Alterns auf die sich wandelnde Körperform ist noch nicht ergründet. Dies alles ist noch nicht völlig geklärt, immerhin gibt es zu denken, daß eine der Hauptbestätigungen jenes Zusammenhanges wiederum aus Süddeutschem Gebiet stammt: der originale feine Innsbrucker Gynäkologe MATHES gab die erste Ergänzung nach der Seite der weiblichen Typen: seine Zukunftsform (Hochwuchs mit männlichem Einschlag), sein Status hypoplasticus haben zwar keine recht klaren seelischen Entsprechungen, sein Status asthenico-ptoticus und Typus intersexualis haben wenig scharf herausgearbeitete Mischungen von hysterischen und schizophrenen Zügen, aber seine „pralle Jugendform" entspricht weitgehend dem Kretschmerschen Pykniker: kleiner Wuchs, tiefer Rumpf, Becken stark geneigt, kurzer Hals, schmaler Schultergürtel, pralle weiche elastische Haut. Dabei ein sozial-positiver Charakter: gesellig, taktvoll, unproblematisch, harmonisch regsam, leicht erzürnt — leicht beruhigt.

Es ist noch nicht viel Positives, was die Forschung fand, und die Deutungen der Befunde schwanken noch heftig, aber es ist doch ein Anfang. Kein Anfang einer neuen Methode, denn die alte und älteste Medizin verfuhr auch prinzipiell nicht anders, aber doch ein Anfang in moderner kritischer Behandlung des Problems. Intuitiv geschauten Körpertypen wird eine seelische Struktur zugeordnet. Dies war auch das Verfahren LOMBROSOS (1836—1909), wenngleich er sich auch der Untersuchung einzelner Merkmale bediente. Auch er glaubte an eine schicksalsmäßig gegebene Körperkonstitution des Verbrechers, also an eine Entsprechung zwischen Körperbau und verbrecherischer Seele. Aber seine Lehre war weder theoretisch noch empirisch genügend fundiert. Sie krankte vor allem an der Annahme „des" Verbrechers als eines irgendwie einheitlichen Typus. Doch diesen gibt es nicht, und so sind seine Theorien heute im Zusammenhang der Wissenschaften so gut wie bedeutungslos. Die Pathologen, Internisten, Psychiater, Gynäkologen, treffen heute zusammen auf dem Gebiete dieser Typenforschung, und sie erhalten noch einen eigenartigen Zuwachs von ganz unerwarteter Seite: der Leipziger Germanist SIEVERS trägt als Ergebnis einer langen Reihe von Forschungsjahren ebenfalls die Lehre vor: Schicksalsmäßig ist von Geburt an der Mensch n gewisse Bande gezwungen, die ihm seine Körperkonstitution auferlegt. Aber er, der Sprachforscher, *sieht* diesen Körperbau nicht, sondern er *hört* aus der verschiedenen Art der Aussprache, welcher Typus vorliegt. Die Geistigkeit, die in jedem geschriebenen und also für die Sprache bestimmten Satze steckt, bediente sich im Akt dieser sprachlichen Schöpfung eines bestimmten Rhythmus, eines Tonfalls, einer Sprachmelodie, oder welchen Ausdruck man immer gebrauchen möge. Aber dieser Komplex von Funktionen war angeboren körperbaumäßig bedingt. Verfüge ich als Nacherlebender, als Nachsprecher nicht über den gleichen Funktionskomplex infolge gleichen Körperbaus, so kann ich jene Sprachgebilde nur schlecht, unfrei, gepreßt, nicht überzeugend aussprechen. So stellt SIEVERS 3 Generaltypen der Sprechweisen auf, die er Personalkurven nennt und als das Konstanteste bezeichnet, was es überhaupt beim denkenden und handelnden Menschen gibt, ja SIEVERS gibt auch Ausblicke auf eine rassenmäßige Bedingtheit dieser Personaltypen. Es ist eigenartig, daß der gelehrte Philologe hierin zu einer Theorie kam, zu der sich in ganz ähnlicher Formulierung schließlich der kgl. bayerische Zollinspektor JOSEF RUTZ (gestorben 1895), ein völliger Autodidakt, durchgerungen hatte. Und dieser und sein Sohn OTHMAR haben dann die Lehre dieser angeborenen Körperhaltungen auch zu der Lehre von den Temperamenten in Beziehung gebracht. Die Kritik war auch diesen Gedankengängen gegenüber auf dem Posten, sie hat manche der neuesten Lehren SIEVERS' als seltsame Auswüchse einer überwertigen Idee bezeichnet, aber sie kann nicht leugnen, daß auch diesen Rutz-Sieversschen Theorien wirkliche Entsprechungen zwischen Körper und Seele zu Grunde liegen, Entsprechungen, die hier umso bedeutsamer anmuten, als sie im Werk der Sprache, der Sprachkunst ihren Niederschlag gefunden haben und also noch unbegrenzte Zeit nach dem Tode des Schöpfers Rückschlüsse auf seine Körperlichkeit erlauben sollen.

Endlich kommt noch ein gänzlich anders orientierter Forscher zu dem Congressus hinzu, der dem gemeinsamen Probleme gilt: WALTER JAENSCH, angeregt durch die Forschungen seines Bruders, ging der Frage nach, ob ein besonderes Verhalten im Wahrnehmen und Erinnern ein körperliches Korrelat habe. E. R. JAENSCH stellte bei Jugendlichen eine recht verschiedene Fähigkeit fest, ein soeben gesehenes Objekt aus der Erinnerung bald mit dem Zeichen der Leibhaftigkeit neu zu beleben, bald nur noch schattenhaft, vorstellungsmäßig reproduzieren zu können (Anschauungsbilder und Vorstellungsbilder). Und je nach der Art dieser Erinnerungsbilder — die Einzelheiten können hier nicht auseinandergesetzt werden — liegt eine verschiedene Körperkonstitution zu Grunde: der tetanoide, der basedowoide und der kretinoide (oder myxödematöse) Typus; T. B. und K. Typus. Also ein bestimmter Biochemismus und zwar ein Verhalten der Thyreoidstofferzeugung soll hier die Grundlage der

Konstitution sein, ein Verhalten, das sich auch medikamentös beeinflussen läßt. Ändert man so künstlich den Chemismus, so ändern sich die Befunde im psychologischen Laboratorium. Durch Untersuchung gewisser Befunde an den Capillaren des Nagelfalzes, durch neurologische Symptome usw. versucht W. JAENSCH diese seine Typen auch körperbaumäßig und funktionsmäßig zn fixieren. Wie immer die Nachprüfung der Aufstellungen WALTER JAENSCHS und seines Bruders ausfallen möge, wiederum richtet sich die Forschung auf eine körperlich-seelische Entsprechung, freilich jetzt nicht mehr auf einen irgendwie einheitlich gesehenen Gesamttypus, sondern auf die Parallelität gewisser Einzelmomente, die als Symptome der Konstitution angesehen werden. Durch die Betrachtung solcher Einzelmerkmale rückt die Forschung mehr und mehr ab von dem Problem der Gesamtkonstitution, sie verliert sich in Einzelentsprechungen. Und in diesem Zusammenhange ist auch noch des einst so gefeierten GALL zu gedenken und seiner Organenlehre (1758—1728). Wenngleich mancher Gedanke des klugen Mannes über die Hirnanatomie und Physiologie späteren Forschungen standhielt, wenngleich sogar seine Lehre von den Abdrücken der Hirnwindungen auf der Außenfläche des Hirnschädels in gewissen Fällen bestätigt werden konnte, so ist doch seine Theorie von den 27 „Sinnen" und ihrer körperlichen „Abbildung" inzwischen völlig verlassen worden.

Allen den bisher genannten Forschern, mögen sich ihre Meinungen erhalten haben oder nicht, war der Glaube gemeinsam, daß die Körperkonstitution in Form oder Chemismus schicksalsmäßig gegeben sei, als etwas Festes, Beständiges, oder höchstens nach *eigenen* inneren Gesetzen sich wandelnd. Dieser Glaube war ja auch die Voraussetzung zu der ganzen Fragestellung. Denn nur dann konnte es Sinn haben, nach dem seelischen Äquivalent der Körperkonstitution zu fahnden. Auch heute noch nimmt man natürlich an, daß aus autonomer Regelung heraus gewisse Formen und Funktionen fertig ins Leben mitgegeben werden, ohne daß sie im Fötalleben gebraucht wurden (z. B. das Gehörorgan, gewisse Verdauungsfermente). Aber man hat andererseits gelernt, von wie verschiedenen Faktoren das Wachstum des einzelnen Organs und des ganzen Körpers abhängt. Daß es bestimmte Wachstumsstoffe gibt, die von den Wachstumsorganen abgesondert werden (Hypophyse, Thymus, Thyreoidea usw.) begegnet heute kaum mehr einem Zweifel. Daß die Zusammenarbeit dieser Drüsen irgendwie zentral geregelt wird, wird allgemein angenommen. Daß die Gewebe sich gegenseitig beeinflussen, haben neuere Untersuchungen sicher gestellt. Daß das Gehirn auch ohne Vermittlung der endokrinen Drüsen das Wachstum und die Körperform mitbestimmt, geht aus den Erfahrungen derjenigen Schädelmißbildungen hervor, bei denen Hypo- und Epiphyse normal sind. Daß endlich gewisse Zustände und Bestandteile der Nahrung (Vitamine) die Körperform nachhaltig beeinflussen können, steht fest (Trockenfutter und Grünfutter, Breifutter und Rohfutter, Fleischfutter und Körnerfutter). Kurz die Erfahrungen haben sich gemehrt, daß die Körperlichkeit des Individuums keineswegs eine feste Form ist, die sich allein nach inneren Gesetzen aus sich heraus entwickelt, sondern daß die mannigfachsten Einflüsse an ihr modellieren. Ist die Entsprechung von Körper und Geist nun so, daß dann jeweils die Seele mit modelliert wird?

Ja man wird heute immer mehr dessen inne, in welch eminenter Weise die Umwelt, die Beanspruchung, der Lebensraum auf die Körperform einwirkt. Daß eine lebhafte Übung der Muskulatur die Muskeln stärkt, d. h. vergrößert, ist uns eine Selbstverständlichkeit. Aber bei stark arbeitenden Tieren nehmen, verglichen mit den Ruhetieren, auch die Leber (z. B. von 21,5 auf 28,4‰ des Körpergewichts), die Nieren (von 3,7 auf 4,8‰) die Lungen (von 7,2 auf 9,7‰) zu, kurz der *gesamte* Körperbau wird anders. Selbst bei gleicher Nahrung und gleicher Luft bekommt das gefangene Tier einen anderen Habitus als das Wildtier, nicht nur äußerlich in seinem Gesamtaussehen, sondern meßbar in dem Gewicht usw. seiner Organe und in deren Verhältnis zueinander. Der jung eingefangene Wolf wird mopsköpfig, das junge mopsköpfige Hausschwein nähert seinen Kopfbau wieder dem Wildschweintypus, wenn man es lange genug hungern läßt. Überhitzte Mäuse bekommen nicht nur selbst nach einiger Zeit ein lockereres Haarkleid, sondern geben es auch ihren in wiederum normaler Temperatur geworfenen Jungen mit. — Der Traber hat eine außerordentlich steile Schulter bekommen; sie dient nur zum Stützen der durch die Hinterbeine vorgeschobenen Körperlast. Die ganze Hinterhand des Trabers ist viel mehr gestreckt; er kann daher weder einen langen Schritt, noch einen guten Galopp liefern, denn die Galoppierschulter muß möglichst schräg sein. Also Körperform durch Beanspruchung. — Außergewöhnlich muskelkräftige, schwer arbeitende Leute im 20. bis 30. Lebensjahr haben eine viel größere Vitalkapazität der Lunge und ungewöhnlich große Lebern. — Von mehr als 20 Autoren ist festgestellt worden, daß die Großstadtbewohner durchschnittlich größer sind als die Landleute, daß die Schulkinder in den Städten im Laufe der letzten Jahrzehnte durchschnittlich stark gewachsen sind, in Jena um mehrere Zentimeter in den Jahren 1881 bis 1921. Aber wir wissen jetzt auch aus sorgfältigen modernen Untersuchungen, daß in den großen Städten die Körperlänge der Schulkinder mit der sozialen Schichtung wächst: die gebildeten haben die größten Kinder, die Arbeiterkinder sind kleiner, die Bauernkinder draußen sind noch kleiner. Und es handelt sich dabei nicht nur um eine Differenz des Längenwachstums, sondern auch um eine vorzeitige Reife der Knochenkerne, also um eine *Form*differenzierung. Die Ursache ist

mit großer Wahrscheinlichkeit nicht eine bessere Ernährung, sondern der Mangel an Bewegung: je stärker die körperliche Inanspruchnahme (Bauernkinder), um so kleiner aber breiter. Die eindrucksvollste Untersuchung stammt von dem Holländer BOLK. Er stellte nicht nur fest, daß der größere Schlag seines Landes nur im fetten fruchtbaren Alluvium sitzt — außer dort, wo an Maas und Rhein entlang der Homo alpinus einbricht — sondern er konnte an einem trefflichen Beispiel nachweisen: in Overysel liegen zwei an Wuchs hochwertige Bezirke im Diluvium, umgeben von Kleinwüchsigen. Die letzteren sind Landarbeiter geblieben, die ersteren haben sich der Industrie zugewandt, ohne Großstadt zu werden, ohne rassenfremde Zuwanderung zu erfahren. Aber das gleichsam Wunderbarste an diesen Bolkschen Feststellungen ist, daß die Durchschnittsgrößenwerte der neunzehnjährigen Rekruten in Nordholland in den Jahren 1821—1858 so stark abnahmen, daß in dieser wohlhabenden Bauernbevölkerung schwerste Degeneration unvermeidlich erschien. Gleichzeitig sank die seelische Energie der ganzen Bevölkerung. Die ganze Nation war fast eine Nation éteinte. In den fünfziger Jahren wurde nur mit Mühe der Staatsbankerott verhindert. Und etwa um 1865 scheint die Nation wieder zu erwachen. Die Krise ist überstanden, und die durchschnittliche Körperlänge wächst gleichzeitig wieder um 13 cm in 50 Jahren. — Die Einwohner der rauhen und unfruchtbaren französischen Grafschaft Limousin und auch die dort Eingewanderten kümmern, die Ausgewanderten überwinden die Kümmerformen alsbald. Die Beispiele ließen sich ins Unendliche häufen, nur der einwandfreien Feststellungen von FRANS BOAS sei noch gedacht: Süditaliener, Mitteleuropäer, Nordwesteuropäer, Osteuropäische Juden haben in Nordamerika Nachkommen, die von ihren Eltern der Form nach verschieden sind. Der Einfluß der neuen Umwelt macht sich sofort fühlbar und wächst langsam mit Zunahme des Zeitraums, der zwischen der Einwanderung der Eltern und der Geburt des Kindes liegt. Welche Einflüsse es auch sein mögen, die diese Änderungen bedingen: die alte Meinung, die den menschlichen Geist so viel beschäftigt hat, taucht wieder auf, daß das *Klima* den Menschen forme. Nur ein Zitat greife ich heraus: Polybios: es besteht eine naturnotwendige Übereinstimmung zwischen Landes- und Volksnatur. Nur diese und keine andere Ursache gebe es, durch welche die Verschiedenheiten der Völker in Sitte, Gestalt, Farbe und den meisten Beziehungen des Lebens bedingt seien. — Die Körperform ist also nichts Starres, schon die Ergebnisse der Züchtungskunde erweisen eine große Plastizität. Geht nun der Weg auch der seelischen Beeinflussung über den Körper? Sind es auch hier wieder irgendwelche Hormone, die auf das Gehirn und also die Seele Einfluß gewinnen? Wir kennen ja andererseits die reichsten Tatsachen über die Beeinflußbarkeit des seelischen Verhaltens durch die Umwelt. Etwa gerade durch das Klima: nur an das eine Moment der *Änderung* der Frühjahrskurve von Zeugung, Unehelichengeburten und Selbstmord in den Tropen sei erinnert. Und des gesamten Komplexes der Erziehung sei nur gerade gedacht. Und wie vorhin die Frage lautete: ändert der Lebensraum durch den Körper die Seele, so kann hier ebenso das Problem anders herum lauten: Ändert die Umwelt durch die Seele den Körper? Und so *hat* auch die Frage häufig in der historischen Entwicklung der Untersuchungen gelautet, die die Einwirkung von Landschaft und Klima zum Gegenstand hatten. Denn *daß* die Seele überhaupt den Körper in Form und Funktion ändern kann, ist ja fast eine Selbstverständlichkeit. Erinnert sei nur an die Beeinflussung der Termine der weiblichen Regelungsvorgänge durch die Angst des Krieges und durch die Kunst der Hypnose, an die seelisch erzeugten Brandblasen auf der Haut (Stigmata Christi), an die seelische Beseitigung anscheinend körperlich bedingter Idiosynkrasieen; nicht aber trifft es zu, wie der Laie oft annimmt, daß der Einfluß der Kultur den Schädelinhalt, Gehirngewicht und Gehirnform nachweisbar verändert habe. Abermals taucht hier Lombrosos Verbrechergesicht wieder auf, aber in ganz anderer Beleuchtung. Einheitliche Seelenzustände nivellieren die Individualitäten. Die gleiche Einschließung in der Strafhaft oder im Arbeitshaus, die Beugung unter die Hausdisziplin, die Erspähung kleiner Vorteile, die gespannte Neugier auf die kleinsten Änderungen in der unendlichen Eintönigkeit der Anstalt, dies alles und noch manches mehr *schafft* das Verbrechergesicht. Geworden nicht angeboren. Und es ist keine Sage, daß sich Eheleute im Laufe eines langen Zusammenlebens ähnlich werden, nicht nur oft in Bewegungen, Ausdrücken, Handschrift, sondern auch in den Gesichtszügen. Das Berufsgesicht des katholischen Geistlichen, des Sportsmannes usw. gehören ebenfalls hierher. Und in diesem Zusammenhange ist es Zeit, Lavaters zu gedenken (1741 bis 1801), dessen Physiognostik nicht eine Lehre der Entsprechungen in jenem Sinne der Feststellung einer naturgegebenen Parallelität war, die des Sinnes und der Bedeutung entbehrt, sondern eine Lehre von der Schrift, die die Seele des Menschen auf Antlitz und Kopfform niederschreibt. Geprägte Form; das Gesicht als Spiegel der Seele: das waren die Schlagworte, die Lavaters Grundprinzip kennzeichneten. Aber in seiner ununterbrochenen Begeisterung, in seiner ewig liebevollen Hingabe fehlte ihm jede Kritik, er unterlag den gröbsten Suggestionen und wirkte auf die Menschen nicht durch sachliche Argumente, durch wirklich erfahrungsgetreu gesammelte Beweise, sondern durch die Ungewöhnlichkeit seiner hinreißenden Persönlichkeit. Lavater, „das größte, weiseste, innigste aller sterblichen und unsterblichen Wesen, die ich kenne" schreibt Goethe als Dreißigjähriger an Frau von Stein „Hütet Euch vor ihm" warnt der Neununddreißigjährige von Rom nach Weimar. Und als Siebenundsechzigjähriger schilt Goethe ihn als „den heillosen

Lavater" (an den Kanzler v. Müller). Diese Wandlung in Goethes Urteil spiegelt die Wandlung wider, die Lavaters Ansehen überhaupt erfuhr. Was von der ganzen Physiognomik zu retten war, rettete Carl Gustav Carus (1789—1869). Klug und besonnen stellte er (dem Wissen seiner Zeit gemäß) zusammen, in wie weit wirklich die Seele dem Körper Sinn und Bedeutung verleiht. Dabei schuf er auch aus der alten okkulten Chiromantzey die Chiroskopie (Chirognomonie nach d'Arpentigny 1843). Othello von der Desdemona: Diese Hand ist warm — dies deutet Fruchtbarkeit, freigebigen Sinn — heiß, heiß und feucht. Solch einer Hand geziemt — Abtötung von der Welt, Gebet und Fasten — viel Selbstkasteiung, Andacht fromm geübt. Aber keine Zeit hat es sich nehmen lassen, diese Entsprechungen, die die Wissenschaft auf ein relativ enges Maß zurückführen mußte, wiederum gefühls-bedingt ins Okkulte, Geheimnisvolle zu erweitern: die modernen Bestrebungen der Augendiagnose, der Huterschen Charakterologie gehören zum großen Teil hierher. Die Physiognomik verdankt indessen unserer Zeit auch eine Erweiterung in Gestalt einer heuristischen Theorie, die, wenn auch noch nicht völlig erprobt, Leben in die etwas erstarrte Materie bringt. HELLPACH hat die These aufgestellt, daß die Formen unseres Gesichtsschädels nicht fixiertes rassenmäßiges Erbgut seien, sondern durch den Charakter, durch das Temperament der Umgebung immer neu entstünden. Das Vehikel dieser Übertragung sei die Sprache. Wenn ein Kind fränkischer Eltern unmittelbar nach der Geburt ins Schwäbische komme, so gleiche sich der Bau seines Gesichtes, insbesondere des Unterkiefers weitgehend dem schwäbischen Typus an. Warum nun eine bestimmte Sprach- und Temperamentsart selbst bei vielfach vermischter Bevölkerung an eine *Gegend* gebunden bleibe, das sei das Geheimnis der regionalen Einflüsse, die man vorläufig nicht präzis zu fassen imstande sei. Dies ist nun das genaue Gegenspiel zu Sievers' Theorie. Dort die erbgebundene Körperlichkeit, die die Sprache irgendwie in ihren Bann zwingt, durch personales oder familiäres oder stammesmäßiges Gen bestimmt: hier die überindividuelle nicht rassenmäßig sondern regional verhaftete Sprache, die dem Einzelnen den Stempel eines bestimmten Körperbaues aufprägt. Der Gedanke lag nahe, zu untersuchen, wie sich denn in zwei entgegengesetzten und gerade von HELLPACH herangezogenen Gebieten wie dem fränkischen und schwäbischen die Taubstummen in ihrer Gesichtsbildung verhalten: sehen sie auch das Temperament ihrer Umgebung in Gesten, Mimik und dgl., so fällt bei ihnen doch das wichtige Mittel der Formübertragung, die Sprache, fort. Meine Untersuchungen hierüber sind noch nicht abgeschlossen. Immerhin läßt sich als vorläufiges Ergebnis mitteilen, daß sich zwischen der Gesichtsentwicklung der normalen und der taubstummen Franken deutliche Unterschiede herausstellen, die freilich nicht ohne weiteres auf eine kurze Formel zu bringen sind. Man kann allenfalls sagen, daß die normalen Franken ein längeres Untergesicht (bezogen auf die Jochbogenbreite), eine schmälere Unterkieferwinkelbreite (bezogen auf die physiognomische Gesichtshöhe) und größere Jochbogenbreiten haben (bezogen auf die größte Kopfbreite) als die taubstummen Franken. Die Unterschiede zwischen den taubstummen Alemannen und taubstummen Franken verwischen sich jedenfalls nicht, sind aber recht verwickelt.

Vielleicht haben die vielen Beispiele, die ich der Anschaulichkeit halber doch nicht entbehren konnte, den Gedankengang ein wenig verwischt. Ich bitte, ihn nochmals herausarbeiten zu dürfen. Die eine Ansicht hält an dem starren erbgebundenen Idiotypus fest. Zwar bringe die Umwelt kleine Modifikationen an, die aus dem Idiotypus einen Phänotypus machen, doch sind diese leichten Abweichungen eigentlich unwesentlich; eigentlich ist das Soma doch ein Idiotypus. Die zweite Ansicht betont den Phänotypus: geprägte, d. h. von der *Umwelt* geprägte Form, die freilich in ihren Möglichkeiten nicht unbegrenzt, sondern in einen gewissen Erbrahmen gespannt sei. Und dasselbe gilt von den einzelnen Merkmalen: nach der ersten Meinung: so und nicht anders — nach der zweiten: mannigfach wenn auch in Grenzen plastibel. Aber jede dieser beiden Grundtheorien involviert noch die Entscheidung in einem weiteren Zwiespalt: Mit der erbgebundenen Starrheit ist verknüpft die Lehre von der *Summe* der Merkmale: diese fügen sich zusammen und spalten sich auseinander, wie man zu einem Steinhaufen Steine wegholen und Steine hinzufügen kann: es bleibt ein ungeformter Steinhaufen. Mit dem Glauben an den plastiblen Phänotypus ist vereint die Lehre von der inneren Struktur des Gebildes. Kein wirrer Haufen, sondern ein Haus mit einem Bauplan, ein Staat mit einem Gefüge, ein Organismus mit einer Struktur. Langsam wächst die Einsicht, daß in der Anschauung von der *Summe* der Erbeinheiten wesentliche Probleme nicht mit gefaßt werden können, gerade so wie der Fortschritt in der Medizin über VIRCHOW hinaus im Körper nicht ein Beieinander von Organen sieht, sondern ein Bezugssystem der Organe nach einem Bauplan. Dieser Bauplan steckt nirgends im einzelnen Merkmal, im einzelnen Organ, genau so wenig, wenn ein populäres Beispiel gestattet ist, wie das Gefüge des Staates im einzelne Beamten sichtbar wird. Die ersten Schritte der Forschung lösen sich von der Merkmalsbeschreibung und Merkmalsstatistik unsicher aber doch klar in dem Suchen nach Korrelationen. Zwei oder mehrere Merkmale werden aufeinander bezogen, zufallsmäßig, ohne Sinn, einfach daraufhin, ob sie häufiger nebeneinander vorkommen als andere. Der Korrelationsfaktor ist jene Zahl, die den Grad der Wahrscheinlichkeit angibt, daß sich B finde, wenn A vorhanden ist, und daß sich B in einer bestimmten Weise ändert, wenn sich A wandelt. Und diese exakte aber wenn man so will geistlose Korrelationsforschung hat schon vortreffliche Ergebnisse gehabt. Wenn man feststellt, daß Linkshändigkeit in hoher Korre-

lation zu Sprachgebrechen steht, so ist dieser Fund gleichsam blind, und doch kann er auf einen Zusammenhang hinweisen, der eine Struktur, eine Funktionsbeziehung verrät. Ähnliches gilt von den viel umstrittenen Indices, wenn etwa im Rohrerschen Index $\frac{100 \cdot P}{L^3}$ Körpergewicht und Körperlänge als Konstitutionsmerkmal zueinander in bestimmte Beziehung gesetzt werden oder, wenn eine Verhältniszahl aus motorischer Gesamtleistung und Herzgewicht errechnet wird, oder wenn man die respiratorische Lungenoberfläche mit der Hämoglobinoberfläche vergleicht, und in der Züchtersprache dann eine feine trockene harte gesunde Konstitution mit Widerstandsfähigkeit, hervorragenden physischen Leistungen, starker Milchproduktion und lebhaftem Temperament durch zahlreiche kleine Hämoglobinreiche Erythrocyten gekennzeichnet glaubt. Nicht die Summe der Merkmale ist es alsdann, welche die Konstitution charakterisiert, sondern ihr irgendwie geartetes Verhältnis, welches auf einen Funktionszusammenhang hinweist. Manche Forscher merken es gar nicht, daß sie sich dabei von der Merkmalslehre Sensu strictori entfernen. Aber diese neue Richtung birgt zweifellos eine klare Absage an die bisherige Vererbungswissenschaft in der Art der Faktorenforschung. Nicht im Sinn von Incende quod adorasti, sondern im Sinne des Herausstrebens aus einem zu engen Bereich. In dieser Fassung bleibt ein Gen kein Merkmal, auch keine Merkmalspotenz, sondern es wird zur Pluripotenz. In dieser Richtung bleibt ein Gen, wenn ein Bild gestattet sei, nicht eine Farbe, sondern es wird plurivalente Farbpotenz, es wird Spectrum (prospektive Potenz in der Ausdrucksweise von DRIESCH). Und welche der möglichen Potenzen sich dann im Phänotypus realisiert, hängt von den Faktoren der Umwelt ab, in jenem weiten, oben umschriebenen Sinne. Die Suche nach den Erbeinheiten, die die Konstitution eines Menschen charakterisieren, geht also auf jene *Potenzen* aus, aber sie schreitet über sie hinweg zu ihrer Abhängigkeit voneinander, zu ihrem Bauplan, zu ihrer Entelechie. Die Idee der Konstitution wird daher wieder zur Idee des Organismus im eigentlichen Sinne, in derjenigen Bedeutung wie sie etwa im Anfang des 19. Jahrhunderts allgemein galt, während sie später zu einem leeren Gebilde des Nebeneinanderseins verblaßte.

Es ist interessant, daß in der Lehre vom Seelischen genau die gleiche Bewegung festzustellen ist. Von der Theorie der seelischen Elemente und ihrem toten Nebeneinander gemäß den sog. Assoziationsgesetzen, von der Laboratoriumsmäßig exakten Untersuchung speziellster Teilfunktionen verschiebt sich das Interesse der psychologischen Wissenschaft allmählich auf den *Wirkungszusammenhang*. Man beginnt sich wieder um den seelischen Bauplan, um die innere strukturelle Lebendigkeit (DILTHEY) zu kümmern, im speziellen nicht um Durchschnittstypen sondern um Strukturtypen. Und so liegt auf der Suche nach den Entsprechungen zwischen Körperkonstitution und Seelenverfassung jetzt bei der parallelen Entwicklung beider Wissenschaften der Weg offen: Nicht beiderseits Merkmalssumme, nicht Faktorenstatistik und Psychogramm sondern Körperkonstitution und Charakter in einem neuen Sinne. Die ersten Anzeichen der Neuorientierung der Forschung haben sich schon verwirklicht. In der Vererbungslehre seelischer Begebenheiten fahndet man z. B. nicht mehr allein nach den Anlagen zu bestimmten seelischen Störungen, sondern nach dem Gen, welches die Disposition zu seelischen Störungen *überhaupt* trägt (Rüdin), und in der somatischen Wissenschaft gibt GOLDSCHMIDTS multipler Allelomorphismus einen Ausblick ins Weite. Zu neuen Ufern lockt ein neuer Tag.

Über die Erdbebenkatastrophe in Japan am 1. September 1923.

Von H. THOMS, Berlin.

Es ist immerhin gewagt, wenn ein Nichtfachmann es unternimmt, über Dinge und Erscheinungen zu berichten, deren wissenschaftliche Ergründung und Erörterung sich die Fachleute vorbehalten haben. So könnte denn auch einem Nicht-Geologen und insbesondere einem Nicht-Erbebenforscher das Recht abgesprochen werden, über ein Erdbeben in einer wissenschaftlichen Versammlung sich zu äußern. Wenn ich diese Bedenken niedergeschlagen habe, so geschah es nicht, um in den Streit der Meinungen der Sachverständigen über Entstehung und Auswirkung von Erdbeben mich einzulassen, sondern lediglich, weil mir die seltene Gelegenheit geboten gewesen ist, wenige Tage nach dem Eintritt eines japanischen Weltbebens die Stätten der Zerstörung, die es verursacht hat, zu betreten.

Japan gehört zu den Ländern, die sich durch Erdbebenhäufigkeit auszeichnen. AUGUST SIEBERG[1]) hat seinem unlängst erschienenen, ausgezeichneten Buche über Erdbebenkunde eine farbige seismisch-tektonische Weltkarte beigegeben, auf welcher die Verbreitung der Erdbeben sehr anschaulich dargestellt ist. Eine Karte des Geographischen Institutes der Universität Berlin, welche unter Berücksichtigung der neuesten Literatur die Häufigkeit der Erdbeben durch die verschiedene Intensität der Farben kennzeichnet, bin ich in der Lage, hier vorzuführen. Es sind auf dieser Karte sowohl die Erd- wie Seebeben verzeichnet. Wenn man unter dem Begriff eines *Großbebens* nach TAMS[2]) alle diejenigen Erderschütterungen versteht,

[1]) Geologische, physikalische und angewandte Erdbebenkunde von Dr. AUGUST SIEBERG. Verlag von Gustav Fischer, Jena 1923.

[2]) Der gegenwärtige Stand der Erdbebenforschung

welche bis zu mindestens 500 km Abstand vom Epizentrum gefühlt werden, dabei aber außerdem eine mikroseismische Reichweite von mindestens 10 000 km besitzen, so gehört das Erdbeben, das am 1. September 1923 Japan heimgesucht hat, zu den *Groß-* oder *Weltbeben*. Das Diagramm, das der Seismograph von diesem Erdbeben in der Erdbebenwarte des Geodätischen Institutes in Potsdam aufzeichnete, hat der Direktor desselben, Herr Professor KOHLSCHÜTTER, für meinen Vortrag mir freundlichst zur Verfügung gestellt. Ich war in Japan an Ort und Stelle Zeuge der grauenerregenden Verwüstungen, die durch die gewaltigen Erdstöße und die nachfolgende Feuersbrunst entstanden sind. Über das, was ich sah, erlebte und feststellen konnte, werde ich in folgendem berichten.

In Begleitung meiner Frau befand ich mich auf einer Reise nach Japan und China, um auf Ansuchen von Universitätsbehörden und Freunden in diesen Ländern wissenschaftliche Vorträge aus meinem Fachgebiet zu halten. Wir hatten die Vereinigten Staaten von Nordamerika durchquert und von San Francisco über Honolulu die Reise nach Japan angetreten. Wir erreichten am 31. August 1923 den 180. Längengrad. Um mit den Ländern, die nach östlichen Längengraden rechnen, wieder in Zeiteinklang zu kommen, müssen wir einen Tag überschlagen. Es ist Sonntag der 2. September, den wir nicht erleben, auf Samstag folgte für uns der Montag. Am 4. September, an welchem Tage wir den 160. östlichen Längengrad überschreiten, trifft auf drahtlosem Wege auf unserm Dampfer die Bestürzung erregende Nachricht von einem starken Erdbeben ein, das in der Umgegend des Fuji Yama am 1. September große Zerstörungen angerichtet habe. In schneller Folge erhalten wir immer schlimmer lautende Nachrichten von dem Unglück, das Japan betroffen. Nach weiteren 3 Tagen hat unser Dampfer den 140. Grad östlicher Länge überschritten und damit die Küste von Japan erreicht. Während des Erdbebens konnte auf der See eine lebhaftere Wasserbewegung *nicht* festgestellt werden. Der Stille Ozean war in diesen Tagen besonders ruhig.

Wir werfen vor Yokohama Anker und sehen uns einem großen Trümmerfeld gegenüber. Sein Anblick ist erschütternd. Wo ehemals stattliche Bauten sich erhoben, ragen nur noch einzelne rauchgeschwärzte Mauerreste hervor. Was das Erdbeben nicht vernichtete, hat das Feuer zerstört. Einige größere Häuser scheinen unversehrt geblieben zu sein; auch ein Turm ist in dem Chaos sichtbar. Die großen Hafenanlagen von Kanagawa, wo in den Warenhäusern Seidenstoffe, Baumwolle, Lacksachen und andere brennbare Stoffe gelagert waren, haben die Flammen vernichtet, ebenso wie sie die Villen der Fremdenkolonie auf dem Bluff dem Boden gleich gemacht. Trostlos sieht die Stätte aus, wo schön gepflegte Gärten die prächtigen Landhäuser des Bluff umgaben. Der Bahnhof in Yokohama ist in seinen Grundmauern stehengeblieben, aber von dem Feuer erheblich mitgenommen. Die Drähte der elektrischen Leitungen hängen in wirren Knäueln herab. Leichen liegen noch unbestattet. Nur ein kurzer Besuch in Yokohama ist von unserm Schiff aus möglich. Nach Tokio zu gelangen, besteht keine Gelegenheit, da die Eisenbahnstrecke vernichtet und der Dampferverkehr eingestellt ist. Und doch liegt mir sehr daran, sobald wie möglich nach Tokio zu gelangen, denn mir sind vom Auswärtigen Amt in Berlin amtliche Schriftstücke an den deutschen Botschafter mitgegeben worden. Lebt er noch, sind unsere Freunde am Leben geblieben? Diese bangen Fragen beherrschen uns.

Vor Yokohama liegen 12 Kriegsschiffe der amerikanisch-asiatischen Flotte. Es gelingt mir, von dem Flottenchef die Erlaubnis zu erhalten, mit einem Kanonenboot nach Tokio zu fahren. Auf ihm befinden sich an Zivilisten noch der französische Botschafter und der Erzbischof von Tokio, welche eine Informationsreise nach dem verwüsteten Yokohama unternommen hatten. Nach dreiviertelstündiger Fahrt, die uns an dem größten Teil der japanischen Kriegsflotte vorbeiführt, machen wir weit vor Tokio fest. Eine amerikanische Pinasse bringt mehrere europäische Flüchtlinge mit, die mit ihrer geretteten armseligen Habe dem Orte des Schreckens entflohen sind. Wir besteigen das kleine Boot und landen nach einer weiteren dreiviertelstündigen Fahrt an der Anlegestelle des Hafens Shinagawa.

Das Boot windet sich kurz vor Tokio durch 5 mit Rasen bedeckte Inselforts hindurch, von denen anscheinend nur 3 durch das Erdbeben erheblicher gelitten haben. Von den Umfassungsmauern sind die oberen Steinlagen abgehoben worden.

Über Steingeröll und den Weg versperrende, wild durcheinander geworfene Balken klettere ich hinweg und gelange auf eine staubige, durch gelegentliche Wasserpfützen schwer passierbare schmutzige Straße, auf welcher sich viel japanisches Volk auffallend ruhig und gemessen bewegt. Auf der Weiterwanderung kann man die schrecklichen Zerstörungen, die Erbeben und Feuer bewirkt, beobachten: Ruinen zum Teil eingestürzter oder versunkener Häuser, zur Seite geneigte Telegraphenstangen, verkohlte Baumstümpfe, eine weite wüste Brandfläche, auf der man Leute umherirren sieht, um nach Überbleibseln ihrer Habe oder vielleicht auch nach den verkohlten Leichen von Angehörigen zu suchen; weite, klaffende Risse im Erdboden, Senkungen desselben, die sich mit Wasser angefüllt haben, die Luft von üblen Gerüchen erfüllt — das sind Eindrücke, die sich unvergeßlich dem Wanderer einprägen.

Es dunkelt bereits, Fahrgelegenheit zu erhalten ist ausgeschlossen, denn die Rikshas Tokios sind zum großen Teil verbrannt, und Autos wurden nur in den Stadtteilen gerettet, die vom Brande ver-

(Seismologie). Von E. TAMS, Hamburg. Die „Naturwissenschaften" Jg. 11, H. 4, S. 49. Verlag von J. Springer, Berlin W 9 1923.

schont blieben. Nach vielen Schwierigkeiten taste ich mich nach dem kaum in Mitleidenschaft gezogenen Imperial-Hotel, das bereits völlig im Dunklen liegt und innen nur notdürftig mit einigen Stearinkerzen beleuchtet ist, denn die Leitungen, die die Straßen und die Häuser mit elektrischem Licht versorgt haben, sind zerstört. Ein im Imperial-Hotel zufällig anwesender höherer Beamter des japanischen Auswärtigen Amtes hat die Freundlichkeit mich durch einen Sekretär zur deutschen Botschaft geleiten zu lassen. Sie hat verhältnismäßig nur wenig durch das Erdbeben gelitten, während das amerikanische und das französische Botschaftsgebäude, die niederländischeGesandtschaft und viele andere staatliche Gebäude der Zerstörung anheimgefallen sind. Der deutsche Botschafter Dr. Solf ist wie durch ein Wunder gerettet worden. Er befand sich in einem Eisenbahnzuge zwischen Tokio und Yokohama, als plötzlich ein vertikaler Erdstoß den Eisenbahnwagen meterhoch emporschleuderte. Der Wagen sank zurück, ohne daß von den Insassen jemand erheblich verletzt wurde.

Ich erfahre in der Botschaft viele Einzelheiten über den Verlauf des Erdbebens, auch daß meine japanischen Freunde gerettet sind, wenngleich sie schwere Einbußen an ihrem Besitztum erlitten haben. In der Nacht, die von einigen kräftigen Erdstößen nicht frei blieb, verweile ich in der Botschaft und kehre tags darauf nach mannigfachen Erschwerungen zu unserm vor Yokohama liegenden Dampfer zurück.

Erst nach Verlauf einiger Wochen statten wir Tokio und Yokohama einen erneuten Besuch ab und haben Gelegenheit, eine größere Zahl photographischer Aufnahmen von den Zerstörungsgebieten uns zu sichern, von denen einige in Lichtbildern vorzuführen ich in der Lage bin. Die Diapositive hat die Firma J. D. Riedel A.-G. in Berlin angefertigt. Es zeigen sich hier die gleichen Wirkungen und ähnliche Zerstörungsbilder, wie wir solche von den großen Erdbeben dieses Jahrhunderts 1906 in San Francisco und 1908 in Messina kennen.

Die ersten Bilder gewähren einen Gesamtüberblick über die zerstörten Gebiete. Von ihnen ist bemerkenswert, daß Asakusa rings um den Kwannon-Tempel vernichtet wurde, dieser aber unversehrt blieb.

Infolge Hebung oder Senkung des Geländes zeigen sich Verwerfungen, wodurch Gebäude und Eisenbahnzüge sich umlegen und Trichter im Gelände entstehen, die sich mit Wasser füllen.

Durch Verwerfungen an dem Sumidafluß sind Brücken zum Einsturz gebracht. Durch Spaltenbildung und seitliche Verschiebung der Spaltstücke in entgegengesetzter Richtung vollziehen sich Einstürze. Dächer werden von massiven Bauwerken fortgerissen, während diese in den Umfassungsmauern erhalten bleiben. Bauten neigen sich zur Seite, bleiben aber im Gefüge erhalten. Vielfach zeigen sich im unteren Teil der Häuser vertikale Risse, während die oberen Stockwerke unbeschädigt geblieben sind. Einen völligen Zusammenbruch von Wohnstätten und Mauern beobachtet man u. a. in Yokosuka sowie von im Neubau begriffenen großen Steinbauten in Tokio. Denkmäler sind seitlich von ihrem Sockel verschoben: eine Kolossal-Kwannon-Figur hat sich um einen Meter gedreht. Von den durch Feuer vernichteten Gebäuden ist die kaiserliche Bibliothek in ihren Umfassungsmauern stehengeblieben. Unversehrt blieben niedrige und in sich fest verankerte Steinbauten, wie das Imperial-Hotel in Tokio.

Das Erdbeben trat am 1. September mittags ein. In einer Sonderausgabe der in Tokio erscheinenden Japan Times gibt deren Herausgeber K. TAKAHASHI[1]) eine anschauliche Darstellung der Ereignisse. Am Morgen des Unglückstages waren Regenschauer niedergegangen, und ein Taifun beunruhigte Yokohama und Tokio. SCHMITTHENNER[2]) ist geneigt, die Auslösung des Erdbebens in ursächlichen Zusammenhang damit zu bringen. Er schreibt: „Wie so oft in Japan scheint auch diesmal die Auslösung der tektonischen Spannung durch einen Wirbelsturm und die damit verbundene Luftdruckentlastung veranlaßt worden zu sein. Denn unmittelbar nach dem Erdbeben brauste ein Taifun über die Trümmerstätte und steigerte in unerhörter Weise die Gewalt der Katastrophe."

Der Wirbelsturm hatte sich zeitweise gelegt — so berichtet TAKAHASHI —, als plötzlich um 11 Uhr 58 Min. 44 Sek. vormittags sich ein dumpfer Ton vernehmen ließ, der sich schnell von der Ferne näherte und gefolgt war von einem heftigen vertikalen Erdstoß. Einige fanden, daß es nur ein ungewöhnlich starker Stoß war, anderen hingegen verursachte er einen solchen Schrecken, daß sie aus den Türen stürzten und das Freie aufsuchten und hier verblieben.

Als die Erderschütterungen sich fortsetzten, Mörtel von den Wänden fiel, Ziegel von den Dächern stürzten, Gebäude in sich zusammensanken, Bäume entwurzelt wurden, erkannte ein jeder, daß etwas unbeschreiblich Schreckliches sich ereignet hatte Man flüchtete allgemein auf die Straßen, da an eine Rettung der Unglücklichen, die durch die Erdstöße bzw. von den Trümmern der einstürzenden Häuser zermalmt oder zum Teil oder ganz verschüttet waren, nicht mehr gedacht werden konnte. Augenzeugen berichteten mir von dem qualvollen Untergang unzähliger Menschen. Hunderte kamen in dem Sumidafluß um, viele versanken in Erdspalten, Tausende erlitten den Feuertod.

Ein amerikanischer Arzt fuhr mit seiner Familie in einem Auto, als dieses plötzlich zur Seite geschleudert wurde; man sprang aus dem Gefährt, der Boden wankte unter den Füßen, man war wie betrunken, und Erbrechen löste sich aus. Ein junges deutsches Mädchen erzählte mir, sie hätte sich fest

[1]) The story of Japans Great 1923 Earth quake with details of the tremendous conflagration with swept Tokyo and Yokohama in consequence by K. TAKAHASHI.

[2]) H. SCHMITTHENNER, Heidelberg: Das Erdbebengebiet von Tokio und Yokohama. Geographischer Anzeiger Jg. 24, S. 243. 1923. Verlag von Justus Perthes in Gotha.

an eine Telegraphenstange angeklammert, und diese sei sekundenlang in großem Bogen hin und her geschwankt. Ein Erdstoß folgte dem anderen. Das Erdbeben-Zentral-Laboratorium in Tokio stellte fest, daß am 1. September von Mittag bis Mitternacht nicht weniger als 222 Stöße gezählt werden konnten. Am 2. September waren es sogar 323. Insgesamt wurden in den Tagen vom 1. bis 17. September 1319 Stöße registriert. Die Städte bzw. Dörfer Odawara, Ito und die Bäder von Hako an der Sagami-Bai wurden von einer Flutwelle erfaßt und vernichtet. Die heiße Quelle von Miyanoshita hat aufgehört zu fließen. Durch Erdrutsche sind zahlreiche Menschen verschüttet worden. Auf dem Bahnhof in Nebukawa wurde ein Zug mit 150 Reisenden, der gerade hielt, und etwa 300 Umstehende unter einem Berg herabstürzender Erdmassen begraben. Schrecklich wütete das Feuer in Yokohama und Tokio. Man behauptete, daß es in Tokio an 42 Stellen zugleich ausgebrochen sei. Die anfängliche Annahme, es sei von anarchistischen Elementen angelegt, hat sich nicht erweisen lassen.

Die Zahl der durch das Erdbeben Getöteten ist anfangs stark übertrieben worden. Eine Statistik des Kriegsministeriums besagt, daß die Zahl der Toten immerhin 99 375 und die der Vermißten 42 890 in Tokio und Yokohama betrage. Die Zahl der Obdachlosen dürfte mindestens eine Million erreichen.

Durch das Erdbeben sind mehr Menschen umgekommen als in dem Krieg mit Rußland, dem größten, den das japanische Kaiserreich je geführt hat, und welcher nicht mehr als 118 000 Menschenleben kostete, während der Materialverlust durch das Erdbeben der Schätzung nach das 10fache der Kriegskosten betrage. Berücksichtigt man den Wert der großen Zahl der durch das Erdbeben oder durch Feuer zerstörten Häuser — sie erreicht die Zahl 350 168 — sowie die vernichteten Vorräte an Waren, die verlorengegangenen Kunstwerke und Sammlungen, so ergibt sich nach der Ende September vorigen Jahres in Japan vorgenommenen Schätzung ein Gesamtverlust von 10—15 Milliarden Yen.

Die Naturwissenschaftler aller Länder, nicht nur die Erdbebenforscher allein, interessiert nun vor allem die Frage, wo und wie ist diese große Erdbebenkatastrophe am 1. September 1923 entstanden, wie war ihr Verlauf, welche terrestrischen Umwälzungen hat sie hervorgerufen, und welche praktischen Nutzanwendungen ergeben sich für die Bewohner der durch Erdbeben stetig bedrohten Länder. In Japan ist seit vielen Jahren ein gut funktionierender Erdbebendienst eingerichtet, und ausgezeichnete Erdbebensachverständige — ich nenne von ihnen OMORI — sind mit der Erforschung aller Fragen beschäftigt, welche das Septembererdbeben aufgeworfen hat.

Es war *tektonischen* Ursprungs. Der berühmte Wiener Geologe EDUARD SÜSS, der Begründer der österreichischen Schule hervorragender Erdbebenforscher, hat als erster wohl zwischen *vulkanischen* und *tektonischen* oder *Verwerfungsbeben* unterschieden. Man bezeichnet die tektonischen Beben heute meist als *Dislokationsbeben*, eine Bezeichnung, die von F. TOULA eingeführt und von der neueren Schule, so auch von R. HOERNES, TAMS, SIEBERG u. a. angewendet wird. *Dislokationsbeben* werden sie deshalb genannt, weil sie Störungen (Dislokationen) des Schichtbaues (der Tektonik) in der Erdrinde bewirken. SIEBERG[1]) teilt die Dislokationsbeben in *Verwerfungs-* und *Faltungsbeben* ein und unterscheidet bei beiden noch weitere Unterabteilungen. Der Geologe R. HOERNES hat einer genetischen Dreiteilung der Erdbeben das Wort geredet: er unterscheidet *Einsturzbeben*, *vulkanische Beben* und *tektonische Beben*.

Wenn SCHMITTHENNER[2]) in seiner Besprechung des Erdbebens sagt, daß das Wahrzeichen Japans, der Fujiyama durch das Erdbeben seine Gestalt weithin sichtbar verändert habe, daß sein Krater an einer Seite durch die Erderschütterungen eingestürzt sei, so ist damit natürlich nicht gemeint, daß das Septemberbeben ein vulkanisches war. Übrigens habe ich diesen Einsturz des Fujiyama nicht feststellen können. Ich kannte ihn bis dahin allerdings nur aus Abbildungen, die sich mir fest eingeprägt hatten und welche mit der Wirklichkeit völlig übereinstimmten. Der Fujiyama zeigte sich mir während meines Aufenthaltes in Tokio und Yokohama in Morgen- und Abendstimmung, ohne Schnee und teilweise mit Schnee bedeckt, ich konnte ihn während der Rückfahrt auf der Anfang November v. J. bereits wieder fahrbaren Eisenbahnstrecke von Tokio nach Osaka volle 7 Stunden lang in vollster Klarheit in seiner majestätischen Schönheit bewundern, bis er dann bei Hamamatsu den Blikken entschwand. Wenn ein Einsturz seines Kraters erfolgt ist, so müßte dies nach der Landseite hin geschehen sein.

Eine lebhaftere Tätigkeit des Vulkans auf der eingangs der Sagami-Bai gelegenen Insel *Oshima* konnte weder vor noch während des Bebens und auch nicht nach demselben beobachtet werden. Ich sah ihn bei mehrmaliger Vorüberfahrt gleichmäßig rauchen: eine erneute Bestätigung, daß tektonische Beben auf benachbarte Vulkane keinen Einfluß hinsichtlich einer gesteigerten Tätigkeit dieser auszuüben brauchen.

Wenn von einer Seite angenommen wurde, daß Yokohama unmittelbar über dem Herde des Lebens lag, so widersprechen dem die bisherigen Feststellungen. YAMASAKI, mit dem ich in Tokio die „Herd"-frage erörterte und von welchem ich die ersten Aufklärungen über die Verwerfungen in und an der Sagami-Bucht erhielt, gab der Ansicht Ausdruck, daß in dieser das Hypo- bzw. Epizentrum des Bebens gelegen sei, und die späteren Ermittlungen bestätigen diese Annahme. Hiernach war der erste und stärkste Stoß die Folge einer Senkung im Seebett der Sagami-Bai, der zweitstärkste wurde durch eine

[1]) S. A. SIEBERGS Erdbebenkunde. Verlag von G. Fischer, Jena 1923.

[2]) l. c. s. Nr. 6, S. 251.

Verwerfung im Meerbusen nicht weit von Yokosuka verursacht. Das Erdbeben breitete sich, wie schon häufig beobachtet, auch diesmal wieder von Südwest nach Nordost aus.

Von besonderem Interesse sind die Verwerfungen in der Sagami-Bai und in deren näherer Umgebung. Die Marine-Attaché der englischen Gesandtschaft in Tokio hat auf Grund authentischer Angaben japanischer Vermessungen zwei Seekarten herausgegeben, von denen die erstere die Veränderungen in der Erhebung der Ufer der Sagami-Bai und Tokio-Bai zeigt und die zweite die Veränderungen in der Tiefe der Sagami-Bai erläutert. Die Karte, die hier vorgezeigt wird, ist von dem Institut für Meereskunde durch Dr. MEYER in Berlin nach einer im Geographical Journal[1]) veröffentlichten Karte angefertigt worden. Die stattgefundenen Senkungen sind durch blaue Farbe, die Erhebungen durch Rot gekennzeichnet.

Entlang der Westküste der Sagami-Bai ist die Erhebung gering, an keiner Stelle größer als 0,3 bis 0,7 m. Die maximale Erhebung von 2 bis 2,5 m ereignete sich vor zwei kleinen Inseln östlich von *Atami*. An verschiedenen Stellen nahe dem Eingang zur Tokio-Bai hat eine Erhebung von 1,5 bis 1,8 m stattgefunden. Die Senkung der Küste ist weit geringer, sie beträgt an keiner Stelle mehr als 0,45 m.

Diese Verwerfungen sind indes geringfügig gegenüber den großen Veränderungen in der Tiefe der Sagami-Bai.

Hier zeigen sich Erhebungen zwischen 46 und 183 m. In der großen Fläche der *Senkung* beträgt das Maximum derselben 115 m, in den bisher noch nicht genauer erforschten Gebieten im Norden der Bai 303 m und in der kleinen gen Osten gelegenen Fläche nicht weniger als 474 m. Diesen großen Verwerfungen im Meeresgrund gegenüber weist das Geographical Journal mit Recht darauf hin, es sei sonderbar, daß die Meereswogen, welche dem Erdbeben gefolgt sind, verhältnismäßig gering waren. Bei Kamakura und anderswo an der Küste entlang ist bei keiner Welle eine größere Höhe als ca. 6—7 m beobachtet worden[2]).

Von den japanischen Erdbebenforschern sind auf Grund ihrer noch nicht abgeschlossenen Messungen weitere Aufklärungen über die Natur dieses Erdbebens zu erwarten. Wir werden vielleicht auch erfahren, welche Anhaltspunkte für die Herdtiefe sich haben feststellen lassen.

Nach SIEBERG führen die bisherigen besten Herdtiefenschätzungen zu sehr geringen Tiefen. Er ist der Ansicht, daß Erdbeben überhaupt nur in der bis zu rund 120 ± 20 km Tiefe reichenden Erdrinde auftreten können. E. RUDOLPH und S. SZIRTES[1]) unterscheiden nach der Herdtiefe drei Klassen von Erdbeben: entweder entstehen sie in der mit DAVISON angenommenen, etwa 8 km tiefen Kompressionsschale oder in einer dann folgenden Tensionsschale oder endlich in der in rund 120 km Tiefe vermuteten Magmaschicht. Nach R. SPITALER[2]) beruht ein großer Teil der Erdbeben auf der potentiellen Energie infolge der Polverschiebungen, indem diese die Erde der jeweiligen Rotationsachse anzupassen sucht und dadurch Bodenverschiebungen auslöst, die als Erdbeben auftreten. SIEBERG sucht die Entstehung der Erdbeben vom physikalischen Standpunkt aus dadurch zu erklären, daß er eine örtliche Umwandlung der in der Erdhaut als Spannungen u. dgl. aufgespeicherten Energien in kinetische annimmt. Hierbei wird sich natürlich die Frage aufdrängen, welches die Ursache des Auftretens solcher Spannungen ist.

Auch eine physikalisch-chemische Deutung ist dafür, und zwar von JOLY herangezogen worden. Er sucht die aufeinanderfolgenden Revolutionen u. a. aus dem Gehalt der Kruste und Eklogitschale an radioaktiver Substanz zu erklären, die durch Zerfall fortgesetzt Wärme entwickelt. Durch Aufspeicherung dieser kommt es schließlich zum Schmelzen des Gesteins (bis ca. 1200° C), zu einer Ausdehnung der isostatischen Schichten und dem Entstehen von Spannungen, die direkt vertikale Bewegungen ergeben. Über diese und andere Theorien mögen die Erdbebenforscher befinden.

Von allgemeinem Interesse ist die *angewandte Seismologie*, welche darauf gerichtet ist, auf Grund der bei Erdbeben beobachteten Erscheinungen Schlußfolgerungen für die zweckmäßigste Bauart der in notorischen Erdbebengegenden bestehenden oder zu errichtenden Niederlassungen zu ziehen.

Schon die alten Römer suchten ihre Wohnhäuser vor den Wirkungen von Erdbeben dadurch zu schützen, daß sie die Längsachse von Gebäuden in die vorherrschende Stoßrichtung der Erdbeben verlegten. F. FRECH[3]) weist darauf hin, daß im 5. Jahrhundert in den Balkanländern und Kleinasien der byzantinische Kuppelbau sich als besonders widerstandsfähig gegen Erdbeben zeigte. In der Neuzeit haben E. ODDONE[4]) in Italien und F. OMORI[5]) in Japan sich mit den Fragen beschäftigt, welche Konstruktion den durch Erdbeben gefährdeten Wohnstätten am besten zu geben sei. Für die mehrstöckigen Gebäude San Franciscos hat man elastische Stahlgerüste empfohlen, die, wie Versuche ergeben haben, den Erschütterungen erfolgreich Widerstand leisten. Diese Bauart könnte auch für größere Geschäftshäuser in Japan fürderhin in Frage kommen. Für

[1]) The Geographical Journal, Vol. 63, No. 3, March 1924. London, The Geographical Society, Kensington Gore S. 10, 7. „Verwerfung des Seebetts bei dem japanischen Erdbeben am 1. September 1923."

[2]) Die hier mitgeteilten Zahlen bedürfen sicher noch einer Revision. Prof. YAMASAKI sagte mir in Tokio im Oktober v. J., die größte Senkung im Meeresbecken der Sagami-Bai betrage 40 m.

[1]) P. M. 1914. I. 124—130; 184—189.

[2]) Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. Wien CXXII. 1913.

[3]) Erdbeben und Baukunst. Abderhaldens Fortschritte der naturwissenschaftl. Forschung, Bd. VIII, Berlin 1913.

[4]) B. S. Seism. Ital. XVII, 9—74. 1913.

[5]) B. Imp. Earth. quake Invest. Com. Tokyo IX, 1, 1—29. 1918.

Wohnhäuser glaube ich auf Grund meiner eigenen Beobachtungen in Japan den einstöckigen, in sich und mit dem Dach fest verklammerten massiven Steinbauten vor der bisherigen japanischen Holzbauart den Vorzug geben zu sollen. Steinbauten bieten auch gegenüber der Verbreitung der bei Erdbeben fast stets eintretenden Feuersgefahr eine größere Sicherheit als Holzbauten. In japanischen Kreisen möchte man anscheinend die alte japanische Bauart auch in der Zukunft beibehalten und glaubt, eine größere Feuersicherheit durch elektrische Licht- und elektrische Herd- und Heizanlagen erzielen zu können. Der solcherart ausgedehnten Elektrisierung der auch von einer minderbegüterten Einwohnerschaft bevölkerten Großstadt stehen doch erhebliche wirtschaftliche Bedenken und Schwierigkeiten entgegen.

In Tokio und Yokohama ist die Erörterung der Fragen, nach welchen einheitlichen zweckmäßigsten Grundsätzen ein Wiederaufbau der zerstörten Städte bzw. Stadtteile vorzunehmen sei, noch nicht zur Ruhe und zum Abschluß gekommen. Man hat die Obdachlosen in zahlreich errichteten Baracken zunächst untergebracht und die Gewährung von Bauerlaubnis für dauernde Wohnstätten einstweilen noch hinausgeschoben.

An der Entscheidung dieser Fragen werden in erster Linie neben den Bau- auch die Erdbebensachverständigen mitzuwirken berufen sein. So sind der Seismologie vielseitige Aufgaben überwiesen. Wenn man sich mit den wissenschaftlichen Ergebnissen der Erdbebenforschung eingehender beschäftigt, wird man gewahr, wieviel hervorragende und nutzbringende Arbeit auf diesem Gebiet besonders in dem letzten Dezennium bereits geleistet worden ist.

Die Erdbebenkunde hat den Rahmen ihrer wissenschaftlichen Betätigung erheblich und vorteilhaft erweitert, als sie begann, mathematisch-physikalische Methoden mehr und mehr in ihren Bereich zu ziehen und damit auch der Erforschung der Konstitution des Erdinnern wertvolle Unterlagen und Aufschlüsse zu bieten. CARL MAINKAS[1]) „Physik der Erdbebenwellen" zeigt uns, welche Arbeitswege die neuere physikalische Erdbebenforschung beschritten hat. Man sollte auch den Chemiker, insbesondere den physikalischen Chemiker, zur Mitarbeit heranziehen, der in gemeinsamem Wirken mit dem Geologen und Physiker wertvolle Dienste in allen Fragen, welche die Beschaffenheit des Erdinnern betreffen, wird leisten können. Der Erdbebenbeobachtungsdienst der einzelnen Länder befindet sich zufolge der Vervollkommnung und Verfeinerung der Seismometer auf beachtenswerter Höhe. Zur Zeit gibt es gegen 300 Observatorien auf der Erde, von denen Deutschland über 21 und Österreich über 3 verfügt. Ich hatte Gelegenheit, auf meiner Weltreise einige dieser Observatorien im fernen Osten zu besichtigen, von welchen die unter Leitung des bekannten Taifunforschers, des ehrwürdigen Jesuitenpaters ALGUÉ, in Manila stehende Station mir einen ganz besonders guten Eindruck gemacht hat. Die Seismologie verdient eine weit größere Beachtung in den Kreisen der Naturforscher, als es bis jetzt geschehen ist. Es darf erwartet werden, daß das allgemeinere Verständnis für die seismologische Forschung sich durch die Arbeiten der „Deutschen Seismologischen Gesellschaft" vertiefen wird, welche gelegentlich der letzten Tagung der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte 1922 in Leipzig gegründet wurde und auch während der heurigen Tagung in Innsbruck zu besonderen Sitzungen zusammentreten wird. Möchte ihren Bestrebungen das Interesse weiterer naturwissenschaftlicher Kreise beschieden sein, denn es handelt sich um die Erforschung der äußeren und inneren Beschaffenheit der Mutter Erde, der wir alle unser Dasein verdanken und die uns trägt und erhält.

* * *

Während der Drucklegung vorstehender Abhandlung geht dem Verfasser aus Japan Nr. 6 der Seismological notes des Imperial earthquake investigation committee vom Juli 1924 zu. Hiernach bedürfen die oben mitgeteilten Zahlenangaben über die durch das Erdbeben vom 1. September 1923 verursachten Verluste an Menschen und Wohnstätten und über die Verwerfungen des Meeresbodens noch einer Ergänzung, wenngleich auch durch die neueste Veröffentlichung die Untersuchungsergebnisse als völlig abgeschlossen noch nicht angesehen werden können.

Nach den neueren Angaben beträgt die Zahl der Toten 99 331, der Verwundeten 103 733, der Vermißten 43 476, die Zahl der völlig zerstörten Häuser 128 266, der Halbzerstörten 126 233, der abgebrannten 447 128 und der von Flutwellen fortgewaschenen 868, insgesamt 576 262, in welche Zahl die halbzerstörten Häuser nicht einbegriffen sind.

Es wird geschätzt, daß in der Sagami-Bai und der Umgebung derselben die Fläche und das Volum der Senkung sich auf 700 sq.km und 50 cbkm beläuft und die der Hebung des Bodens auf 240 sq.km und 20 cbkm insgesamt.

Dieses Ergebnis ist erzielt worden auf Grund von Messungen, welche an 83 286 Punkten ausgeführt wurden, verteilt auf die Fläche zwischen Tyosi im Osten und der Suruga-Bai im Westen und zwischen der Tokyo-Bai im Norden und den Miyake-Inseln im Süden. Als Vergleich wurden die früheren Messungen herangezogen, welche meist im Jahre 1912 ausgeführt worden sind. Die Höhe der Flutwellen betrug bei Atami 12 m, bei Ito und Aziro 8 m und bei Ainohama 9 m.

The Memoirs of the Imperial Marine Observatory, Kobe, Japan, Vol 1, Nr. 4 vom August 1924 benötigen keine Änderung der vorstehenden Angaben.

[1]) Physik der Erdbebenwellen. Zusammenfassung der Arbeitswege und deren Ergebnisse von Prof. Dr. CARL MAINKA. Berlin: Verlag von Gebr. Borntraeger 1923.

Sinnesphysiologie und „Sprache" der Bienen.

Von K. v. Frisch, Breslau.

Seit Christian Konrad Sprengels[1]) Zeiten ist den Blütenbiologen der auffällige Gegensatz zwischen windblütigen und insektenblütigen Pflanzen geläufig: Die *Windblüter* (Gräser, Nadelhölzer usw.) besitzen im allgemeinen kleine, unscheinbare, duftlose Blüten, die keinen Nektar absondern, der Blütenstaub wird durch den Wind nach den Gesetzen des Zufalls vertragen und muß in ungeheuren Mengen produziert werden, damit einige Pollenkörner ihr Ziel erreichen und die Befruchtung bewirken; bei den *Insektenblütern* übertragen die Blütengäste den Pollen auf kurzem und relativ sicherem Wege. Sie sammeln in den Blumen Nektar oder einen Teil des Blütenstaubes als Nahrung, die ihnen die Pflanze als Gegenleistung für ihren „Liebesdienst" bietet. Als sinnfällige Kennzeichen der Insektenblütigkeit finden wir lebhaft gefärbte, oft absonderlich geformte Blütenblätter, bei anderen Pflanzen einen auffallenden Blütenduft, bei wieder anderen bunte Farben und lieblichen Duft vereint und wir deuten diese Merkmale als Wegweiser für die Insekten, um diesen das Auffinden der Nahrung und hiermit den Blüten ihre Bestäubung zu sichern.

Daß der Blüten*duft* als Lockmittel für die Insekten diene, hat seit Sprengel niemand bezweifelt und eben deshalb blieb wohl unser Wissen um die biologische Bedeutung des Blütenduftes bis in die Gegenwart auf einem Zustande, der nur als kümmerlich bezeichnet werden kann. Über die Bedeutung der Blumen*farben* ist durch Dezennien viel experimentiert und viel gestritten worden.

Ich habe mich nun nach dieser Richtung 12 Jahre lang mit der Honigbiene beschäftigt — unserer wichtigsten Blütenbestäuberin. Wenn ich es unternehmen soll, Ihnen in knapper Zeit einen Überblick über die Resultate zu geben, so muß ich mich auf das Wesentlichste beschränken und manches wird apodiktisch erscheinen, was in Wahrheit das Ergebnis langwieriger Experimente ist und durch mannigfache Kontrollversuche gesichert wurde. Die Zweifler seien also von vornherein auf meine ausführlichen Darstellungen[2]) verwiesen.

Den Anstoß zu den Versuchen gab die aufsehenerregende Mitteilung von C. v. Hess[1]), daß die Bienen sowie alle anderen wirbellosen Tiere (und unter den Wirbeltieren die Fische) total farbenblind seien, und daß daher auch die Blumenfarben nicht die ihnen zugeschriebene biologische Bedeutung haben könnten. Auf seine Argumente brauchen wir hier nicht einzugehen; denn wir wissen heute, daß seine These auf einem mit Leidenschaft verfochtenen Trugschluß beruhte. Sein bleibendes Verdienst um die Farbensinnfrage liegt darin, daß er auf die Unzulänglichkeit der älteren „Beweise" für einen Farbensinn bei Tieren aufmerksam gemacht hat. Wenn sich beispielsweise eine Biene, der man auf blauem Papier Honig geboten hat, nun für andere blaue Papiere der Umgebung interessiert, dazwischen liegende rote Papiere aber nicht beachtet, so darf daraus noch nicht auf Farbensinn geschlossen werden. Auch ein total farbenblindes Menschenauge kann Rot und Blau unterscheiden, indem es Rot sehr dunkel, fast schwarz, Blau aber wie ein helles Grau sieht. Jede Farbe erscheint dem total farbenblinden Auge als ein Grau von bestimmter Helligkeit. In *welcher* Helligkeit etwa ein gewisses Blau einem total farbenblinden *Bienen*auge erscheinen würde, kann ich a priori nicht wissen. Zum Nachweise eines Farbensinnes muß gezeigt werden, daß dieses Blau für das Bienenauge von Schwarz, Weiß und allen zwischen beiden gelegenen Grauabstufungen verschieden ist. Hiermit ist auch die Versuchsanordnung gegeben.

Wir locken durch Honigduft eine Schar von Bienen auf einen Tisch und füttern sie weiterhin mit duftlosem Zuckerwasser aus einem Uhrschälchen. Die Bienen saugen sich voll, fliegen ab, entledigen sich im Heimatstocke der Bürde und kommen sogleich an die Futterstelle zurück. Es sind also, von einzelnen Neulingen abgesehen, *dieselben Tiere*, die in Intervallen von etwa 5 zu 5 Minuten immer wiederkehren. Diesen Umstand benutzen wir zu dem Versuch, sie auf eine Farbe, etwa Blau, zu *dressieren*. Wir setzen das Futterschälchen auf ein blaues Papier und legen ringsum, zu einer schachbrettartigen Anordnung vereint, Graupapiere von gleicher Form und Größe in den verschiedensten Helligkeitsabstufungen auf die Tischplatte. Ist die Dressur durch einige Stunden oder Tage fortgesetzt, wobei der Platz des Blaupapiers mit dem Futterschälchen innerhalb der Gesamtanordnung häufig gewechselt wird, so können wir den entscheidenden Versuch machen: Alle bisher benutzten Papiere, die teilweise mit Zuckerwasser beschmutzt sind, werden entfernt. Auf der Tischplatte legen wir eine Serie reiner grauer Papiere, die in 15 Abstu-

[1]) Chr. K. Sprengel, Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen. Berlin 1793.

[2]) K. v. Frisch, Der Farbensinn und Formensinn der Biene. Zoolog. Jahrb., physiol. Abt. 35, 1—188. 1915 (auch als Sonderausgabe: G. Fischer, Jena 1914). — Über den Geruchsinn der Biene und seine blütenbiologische Bedeutung. Zoolog. Jahrb., physiol. Abt. 37, 1—238. 1919 (als Sonderausgabe: Jena 1919). — Über den Sitz des Geruchsinnes bei Insekten. Zoolog. Jahrb., physiol. Abt. 38, 1—68. 1921 (als Sonderausgabe: Jena 1921). — Über die „Sprache" der Bienen. Zoolog. Jahrb., physiol. Abt. 40, 1—186. 1923 (als Sonderausgabe: Jena 1923).

[1]) Seine Arbeiten sowie die übrige einschlägige Literatur findet man zitiert in meinem Aufsatz: Das Problem des tierischen Farbensinnes. Die Naturwissenschaften Jg. 1923, H. 24.

fungen von Weiß zu Schwarz führt, in beliebiger Helligkeitsfolge zu einem Schachbrettmuster zusammen und fügen an beliebiger (aber vom Orte der letzten Fütterung abweichender) Stelle ein reines blaues Papier ein. Um jede etwa von den Papieren ausgehende Duftwirkung auszuschalten, decken wir über die gesamte Anordnung eine Glasplatte. Über jedes der 16 Papiere wird ein reines, leeres Glasschälchen gesetzt. *Die Bienen sammeln sich sofort über dem blauen Papier* und suchen daselbst das leere Schälchen hartnäckig nach dem gewohnten Futter ab (vgl. Fig. 1). Sie zeigen uns hiermit, daß sie das Blau von allen Grauabstufungen mit Sicherheit unterscheiden können[1]). Sie haben also Farbensinn.

Die Dressur auf Orangerot, Gelb, Grün, Violett und Purpurrot gelingt ebensogut wie die Dressur auf Blau. Dagegen verhalten sich Bienen, die auf Scharlachrot dressiert sind, genau so wie Bienen, die

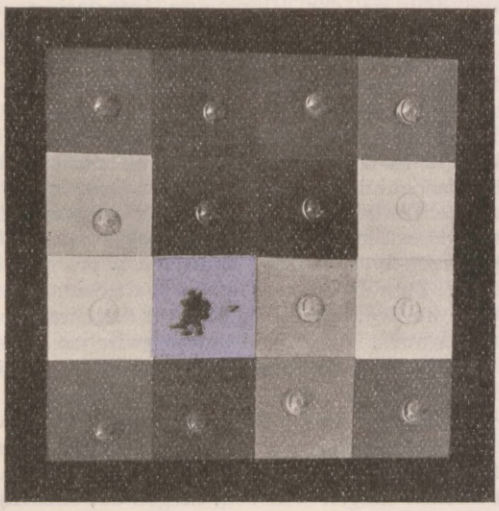


Fig. 1. Nachweis des Farbensinnes. Ein blaues Blatt in der Grau-Serie; alle Papiere sind mit einer großen Glasplatte überdeckt; auf der Glasplatte stehen reine, leere Uhrschälchen. Die auf blau dressierten Bienen versammeln sich über dem blauen Papier, obwohl auch dieses Schälchen kein Futter enthält.

durch längere Zeit auf einem schwarzen Papier gefüttert wurden: In beiden Fällen befliegen sie unterschiedslos rote, schwarze und dunkelgraue Papiere. Scharlachrot wirkt auf die Bienen nicht anders wie Schwarz. Neuerdings wurde dasselbe auch bei anderen blütenbesuchenden Insekten erwiesen. Man wird nicht fehl gehen, wenn man die Armut unserer Flora an scharlachroten Blumen, die den Blütenbiologen schon lange bekannt, bisher aber nicht verständlich war, mit der Rotblindheit der blütenbesuchenden Insekten in Zusammenhang bringt. Auch in anderen Weltteilen scheinen unter den insektenblütigen Pflanzen scharlachrote Blumen so selten zu sein wie bei uns. In schroffem Gegensatze hierzu steht die weite Verbreitung scharlachroter Blüten und die Seltenheit blauer Farben bei den „Vogelblumen", die in Amerika durch Kolibri, in Afrika und Australien durch die Honigvögel bestäubt werden. Das Vogelauge ist für rotes Licht hochgradig empfindlich, für Blau dagegen stark unterempfindlich. Aus dem Gesagten geht hervor, daß es sich nicht um ein Unvermögen der Pflanzen handelt, diese oder jene Farbe hervorzubringen, sondern um eine offenkundige Anpassung an den Farbensinn der Blütengäste.

Neuerdings hat KÜHN, zum Teil in gemeinsamer Arbeit mit dem Physiker POHL[1]), die Farbdressur von Bienen unter Anwendung von *spektralen Lichtern* wiederholt. Die Rotblindheit der Bienen hat sich hierbei bestätigt: Wellen über 650 $\mu\mu$ wurden von den Bienen nicht mehr wahrgenommen. Im übrigen gelang die Dressur auf Spektralfarben ebenso sicher wie die Dressur auf Pigmentfarben. In zwei Punkten erwiesen sich aber die Spektralversuche meiner Versuchsanordnung überlegen: ich hatte mit einem gewissen blaugrünen Pigmentpapier keinen Dressurerfolg erzielt und die Bienen daher für rotgrünblind gehalten; nach KÜHN und POHL gelingt die Dressur auf ein entsprechendes *spektrales* Blaugrün ohne weiteres; sie meinen, daß das betreffende blaugrüne Pigmentpapier zu ungesättigt gewesen sei. Von allergrößtem Interesse ist aber — was mir bei den Versuchen mit Pigmentpapieren naturgemäß entgehen mußte —, daß die Empfindlichkeit des Bienenauges weit ins *Ultraviolett* reicht und daß das Ultraviolett (etwa von 400 $\mu\mu$ bis 300 $\mu\mu$) als eigene, nicht nur von allen Grauabstufungen, sondern auch von Blau qualitativ verschiedene Farbe gesehen wird. Wieder drängt sich die Frage nach den Beziehungen zu den Blumenfarben auf. Sie ist hier nicht so leicht beantwortet, denn unser Auge läßt uns im Stich und es bedarf besonderer Untersuchungsmethoden. Nach einer soeben in Amerika erschienenen Abhandlung[2]), ist starke Ultraviolett-Reflexion an Blumenblättern sehr verbreitet. Für die Blütenbiologen ergibt sich eine Fülle neuer Fragen.

Die Unempfindlichkeit des Bienenauges für Rot wird also durch seine Ultraviolettempfindung wett gemacht. Aber in anderer Hinsicht steht der Farbensinn der Bienen hinter den Leistungen des

[1]) Die 15stufige Grau-Serie genügt; denn die Dressur auf eine bestimmte *Helligkeits*stufe dieser Grauserie gelingt nicht im entferntesten. Übrigens habe ich in anderen Versuchsreihen auch bedeutend feiner abgestufte Grauserien mit genau demselben Erfolg verwendet.

[1]) A. KÜHN und R. POHL, Dressurfähigkeit der Bienen auf Spektrallinien. Die Naturwissenschaften Jg. 1921, H. 37. — A. KÜHN, Versuche über das Unterscheidungsvermögen der Bienen und Fische für Spektrallichter. Nachr. d. Kgl. Ges. d. Wiss., Göttingen, Math.-physik. Klasse 1923.

[2]) F. E. LUTZ, Apparently non-selective charakters and combinations of charakters, including a study of ultraviolett in relation to the flower-visiting habits of insects. Ann. of the New York acad. sc. **29**, 181 bis 283. 1924.

menschlichen Auges erheblich zurück: es fehlt ihm jedes feinere Unterscheidungsvermögen für Farbennuancen. Bienen, die auf ein gelbes Pigmentpapier dressiert sind, befliegen unterschiedslos orangerote, gelbe und grasgrüne Papiere, solche die auf Blau dressiert sind, wenden sich allen blauen, violetten und purpurroten Farben zu, in welch letzteren ja die rote Komponente für sie nicht vorhanden ist. KÜHN ist bei seinen Spektralversuchen zu ganz entsprechenden Resultaten gekommen: Innerhalb des Bereiches von 650—530 $\mu\mu$, der bei uns das kurzwellige Rot, Gelb und Grün umfaßt, wurden von den Bienen verschiedene Reizqualitäten nicht unterschieden; ebensowenig innerhalb des blaugrünen Bezirks von etwa 510—480 $\mu\mu$, der für sie eine zweite Reizqualität darstellt, oder innerhalb des blauen und violetten Bezirks von 470—400 $\mu\mu$ oder schließlich innerhalb ihrer vierten Reizqualität von 400—300 $\mu\mu$ (Ultraviolett).

Um die biologische Bedeutung dieser Erscheinung ins rechte Licht zu setzen, müssen wir uns das Verhalten der Bienen bei ihren Sammelflügen vergegenwärtigen. Sie sind *blumenstete* Insekten, d. h. ein bestimmtes Individuum befliegt Stunden und Tage hindurch nur Blüten ein und derselben Pflanzenart. Für die Biene ist dies vorteilhaft, weil sie überall auf dieselbe Blüteneinrichtung trifft, mit der sie vertraut ist; für die Blüten ist die Stetigkeit der Besucherin zur Herbeiführung einer regelrechten Kreuzbefruchtung von größter Wichtigkeit. Eine Blumenstetigkeit ist aber nur möglich, wenn die Biene die gesuchten Blumen von den anderen Blüten mit Sicherheit zu unterscheiden vermag. Nun ist jener Reichtum an Farbenabstufungen, der unser Auge in einer blumenreichen Wiese erfreut, für das Bienenauge nicht vorhanden. So können den Bienen die Farben der Blüten nur in beschränktem Maße zu ihrer Unterscheidung dienen. Es müssen ihnen daneben andere Merkzeichen zu Gebote stehen. Die Form der Blumenblätter, die Farbenkombinationen in mehrfarbigen Blüten, die „Saftmale" spielen hier nachweislich eine Rolle — aber auch sie reichen nicht aus, die Zielsicherheit der sammelnden Bienen zu erklären.

Solche Überlegungen haben mich zu Untersuchungen über den *Geruchssinn der Bienen* geführt. Tatsächlich ist der Blütenduft für die sammelnde Biene das wichtigste Merkzeichen zur sicheren Unterscheidung der Blüten. Auch hier geben uns Dressurversuche den gewünschten Aufschluß. Füttert man Bienen in einem mit Flugloch versehenen Kästchen, dem man einen bestimmten Blütenduft beigibt, so lernen sie in wenigen Stunden, sich durch diesen Duft zum Futter leiten zu lassen. Sie schlüpfen dann auch in futterlose Kästchen hinein, wenn ihnen der „Dressurduft" entströmt, während sie anders duftende oder duftlose Kästchen meiden. Die zahllosen Varianten der bestehenden Blumendüfte werden von den Bienen mit ähnlicher Sicherheit unterschieden wie von uns. Überlegen sind uns die Bienen durch ein erstaunlich gutes *Gedächtnis für Düfte*, das auch ihr Gedächtnis für Dressur*farben* bei weitem übertrifft. Auf die Bedeutung dieser Tatsache komme ich später zurück[1]). Die Dressurmethode gestattet auch eine näherungsweise Bestimmung der *Riechschärfe* der Bienen. Bietet man den Dressurduft in immer geringerer Konzentration, so kommt man schließlich an eine Grenze, wo die Bienen das Duftkästchen unter duftlosen Kästchen nicht mehr herausfinden. Solche Versuchsreihen habe ich mit einem natürlichen Blütenduft· (Tuberosenblütenöl) und mit zwei chemisch reinen Riechstoffen (Methylheptenon und Bromstyrol) durchgeführt. Das übereinstimmende Ergebnis war, daß diese Riechstoffe von den Bienen bei angenähert derselben Verdünnung nicht mehr erkannt werden, bei der auch ein normales menschliches Geruchsorgan das Duftkästchen von duftlosen Kästchen nicht mehr zu unterscheiden vermag. Die in Imkerkreisen viel gerühmte fabelhafte Riechschärfe der Bienen ließ sich also nicht bestätigen. Hiermit steht in Einklang, daß der Anflug auf die Dressur*farbe* aus einer Entfernung von mehreren Metern geradlinig stattfindet, daß dagegen eine Orientierung durch den *Duft* erst aus einem Abstand von wenigen Zentimetern zu erfolgen pflegt. Dies gilt für die Kästchenversuche ebenso wie für das natürliche Verhalten beim Blumenbesuch, sofern nicht ungewöhnlich intensive und auch für die menschliche Nase weithin wahrnehmbare Düfte entwickelt werden. Blüten, die für uns völlig duftlos sind (wilder Wein, Johannisbeeren, Heidelbeeren) sind nachweislich auch für die Bienen geruchlos. Andererseits können schon sehr *schwache* Blumendüfte für die Biene dadurch zur Geltung kommen, daß sie ihre Geruchsorgane, die auf den Fühlern frei exponiert sind, beim Anflug förmlich in den Blütenkelch hineintaucht.

Daß die Geruchsorgane der Bienen auf den *Fühlern* liegen, ist freilich bis in die neueste Zeit umstritten gewesen. Zwar weiß man schon lange, daß sie nach Amputation der Fühler auf Düfte nicht mehr reagieren. Doch MC INDOO suchte dies auf eine allgemeine schwere Schädigung zurückzuführen, die mit dem Abschneiden dieser nervenreichen Organe notwendig verbunden sei. Durch die Dressurmethode lassen sich diese Bedenken zerstreuen. Auf einen *Duft* dressierte Bienen sind nach Amputation der Fühler absolut nicht mehr imstande, den Dressurduft unter anderen Düften herauszufinden, obwohl sie in gewohnter Weise suchen. Auf eine *Farbe* dressierte Bienen fliegen auch nach Amputation der Fühler ausschließlich die Dressurfarbe an, mit unverminderter Zielsicherheit. Das Versagen der duftdressierten Tiere kann also nicht auf eine mit der Entfernung der Fühler verbundene allgemeine Schädigung, sondern nur auf den Ausfall der Geruchsorgane bezogen werden.

Bisher sah man im Blütenduft nur ein *Lockmittel* für die Insekten, das ihnen das erstmalige Auffinden der Blüten erleichtern soll. Dies trifft auch für jene Bienen, die auf Entdeckung neuer Nah-

[1]) Vgl. Anm. auf S. 985.

rungsquellen ausgehen, die sog. *Sucher*, gewiß zu. Daneben sehen wir im Blütenduft ein *Merkzeichen*, das jenen Bienen, die bei ihren Flügen bereits eine bestimmte Blumensorte zum Ziel haben — den *Sammlern* — das Erkennen dieser Blumen und ihre Unterscheidung von anderen Blüten erleichtern soll. Doch ist die Bedeutung des Blütenduftes hiermit noch nicht erschöpft. Um eine dritte, und vielleicht seine wichtigste Aufgabe klarzustellen, muß ich etwas weiter ausgreifen.

Wenn wir mit Versuchen beginnen und zu diesem Zwecke Bienen an den Versuchstisch locken wollen, legen wir zunächst ein mit Honig bestrichenes Papier aus. Stundenlang, tagelang müssen wir oft warten, bis eine Biene den Honig entdeckt. Hat aber *eine* ihn gefunden, so sind in kürzester Zeit Dutzende, dann Hunderte zur Stelle, die zunächst fast ausnahmslos dem gleichen Bienenstock entstammen wie die Entdeckerin. Offensichtlich liegt eine Verständigung vor. Wie sie vor sich geht, war bisher in Dunkel gehüllt. Man dachte wohl, die Stockgenossen bemerkten die reiche Beute der Heimkehrerin und würden ihr beim nächsten Flug zur Futterstelle folgen.

Wollte man das Dunkel lichten, so waren zwei Vorbedingungen zu erfüllen. Erstens war ein Bienenstock notwendig, der gestattet, die Vorgänge in seinem Innern, auf sämtlichen Waben, frei zu überblicken. Ich habe deshalb Beobachtungsstöcke gebaut, bei welchen die Waben, statt wie sonst hintereinander, sämtlich nebeneinander stehen, so daß sie gleichsam eine riesige Wabenfläche bilden, die durch Glasscheiben hindurch in ganzer Ausdehnung überblickt werden kann. An das einfallende Licht gewöhnen sich die Tiere sehr rasch und lassen sich in ihrem normalen Treiben nicht stören. Zweitens mußte jedes Versuchstier — und bisweilen waren es mehrere Dutzend bei einem Versuch — in dem Gewühle von 30 000 oder 50 000 Stockbienen auf den ersten Blick persönlich erkennbar sein. Dies erreichte ich durch ein einfaches Verfahren, die Bienen mittels unverwischbarer Farbflecke zu numerieren. Bei Anwendung von 5 verschiedenen Farben kann ich sie von 1—599 fortlaufend numerieren, was mehr als genügend war, und die Nummern sind so klar, daß sie sich sogar im Fluge ablesen lassen.

Verfolgen wir nun eine Biene, die unsern Honigbogen oder das Zuckerwasserschälchen entdeckt und ihr Ränzlein gefüllt hat, bei ihrer Heimkehr in den Beobachtungsstock, so bemerken wir ein höchst auffälliges Benehmen. Nachdem sie die süße Beute an Stockgenossen abgegeben hat, welche die weitere Verteilung unter den hungrigen Schwestern oder die Aufspeicherung in Honigzellen übernehmen[1]), beginnt sie auf den Waben eine Art „*Rundtanz*", indem sie mit raschen, trippelnden Schritten im Kreise herumrennt, dann plötzlich kehrt macht und sich in der entgegengesetzten Richtung weiter dreht, wieder herumschwenkt und im früheren Sinne ihre Kreise läuft usw., 3, 10, 20 Wendungen können an derselben Stelle ausgeführt werden, ein paar Sekunden, eine halbe, eine volle Minute kann der tolle Tanz währen[1]). Oft wird er an verschiedenen Stellen der Wabe wiederholt. So überraschend der Tanz begonnen hat, so plötzlich wird er abgebrochen, die Biene stürzt in Hast zum Flugloch hinaus und sucht den Futterplatz wieder auf.

Da dieser Rundtanz stets im dichten Gewühle der anderen Bienen ausgeführt wird, kommt die Tänzerin bei ihren Drehungen mit den Tieren der Nachbarschaft in lebhafte Berührung; diese geraten in große Erregung, wenden ihr den Kopf zu, suchen die Fühler an ihren Hinterleib zu halten und trippeln hinter ihr drein, so daß die tanzende Biene einen Schwanz von anderen mit sich zieht, die die Kreistänze mit allen Wendungen mitmachen. Ab und zu löst sich eine aus dem Gefolge, begibt sich zum Flugloch und verläßt den Stock. Bald darauf erscheinen die ersten Neulinge am Futterplatz. Auch sie tanzen, wenn sie reich beladen heimkehren, und je mehr der Tänzerinnen werden, desto mehr Neulinge drängen sich an den Futterplatz. Kein Zweifel: Die Tänze geben im Stock Kunde von der reichen Tracht.

Aber wie verständigen sie sich über den *Ort* des Fundplatzes? Die nächstliegende Annahme, daß die Neulinge der Tänzerin bei deren Rückkehr zur Futterstelle direkt nachfliegen, erwies sich als sicher falsch. Denn im Stock lösen sich die alarmierten Bienen teils schon während des Tanzes von der Tänzerin los, teils verlieren sie den Kontakt mit ihr unmittelbar nach seiner Beendigung. Sie eilen unabhängig von ihr zum Flugloch. Es blieb noch die Möglichkeit, daß sie am Flugloch lauern, daß sie die Biene, die zur reichen Trachtquelle geht, beim Abflug vielleicht an einem besonderen Zeichen erkennen und hinter ihr herfliegen. Ich habe mich daher in vielen und zeitraubenden Versuchen bemüht, dieses erwartete Hinterdreinfliegen zu beobachten — mit dem Endergebnis, daß es nicht vorkommt. Stets fliegt die Tänzerin *allein* zum Futterplatz, und unvermutet, wie aus einer Versenkung hervorgezaubert, gesellen sich dort die Neulinge zu ihr.

Das Rätsel ließ die abenteuerlichsten Hypothesen auftauchen. So dachte ich, daß vielleicht die Tänzerin durch ein geheimnisvolles Zeichen die Himmelsrichtung und die Entfernung angebe, in der das Futter zu suchen sei. So falsch die Annahme war, sie führte doch weiter. Um sie zu prüfen, stellte ich westlich vom Beobachtungsstock, 15 m von ihm entfernt, ein Honigschälchen auf, an welchem einige numerierte Bienen gefüttert wurden. Andere Honigschälchen setzte ich teils in derselben, teils in größerer oder geringerer Entfernung nach allen Himmelsrichtungen ins Gras. Das überraschende Ergebnis war, daß nicht nur jenes Futterschälchen, sondern alle Schälchen der Umgebung in kürzester Zeit von nicht numerierten

[1]) Nur äußerst selten füllen die Sammlerinnen selbst den eingetragenen Nektar in die Honigzellen.

[1]) Beim Vortrage kinematographische Demonstration der Bienentänze.

Bienen (Neulingen) aus dem Beobachtungsstock beflogen wurden, sobald die gefütterten Tiere im Stock ihre Tänze aufführten. Wurde an jenem Futterplatze nicht gefüttert, und fanden dementsprechend im Stock keine Tänze statt, so blieben all die Honigschälchen durch Stunden und Tage hindurch unentdeckt.

Es geht daraus hervor, daß die Tänze die Stockgenossen veranlassen, unabhängig von der Tänzerin nach allen Seiten auszuschwärmen und zu suchen. Sofort erhebt sich die Frage, in welchem Umkreise dieses Absuchen der Umgebung stattfindet.

Das Futterschälchen der numerierten Bienen blieb an seinem Platze, die anderen Honigschälchen versetzte ich in aufeinander folgenden Versuchen in immer größere Entfernung vom Stock, stets überzeugt, daß die Entfernung schon zu groß gewählt sei, und stets von neuem überrascht, wenn zwar nach längerer Wartezeit, aber mit unfehlbarer Sicherheit die Bienen kamen. Zuletzt standen die Beobachtungsschälchen inmitten einer ausgedehnten Wiesenfläche, einen vollen Kilometer vom Futterplatz und Beobachtungsstock entfernt, durch Hügel und Wälder von ihm getrennt; 4 Stunden war die Wartezeit, aber dann kamen sie auch da. Sobald sich die Bienen ans Schälchen gesetzt hatten, wurden sie mit Farbe gezeichnet, ihr Abflug vom Schälchen wurde durch eine vorbereitete Postenkette an den Heimatstock signalisiert, und wenige Minuten später wußten wir, daß es keine Fremdlinge aus den umliegenden Bienenständen, sondern Tiere aus unserem Beobachtungsstocke waren. So dürfen wir annehmen, daß auf die Tänze hin zunächst die Umgebung des Stockes, allmählich die weiter entlegenen Triften und schließlich der ganze Flugkreis abgesucht wird.

Hiermit schien die Frage nach der Verständigung über den Ort der Trachtquelle in ebenso einfacher wie befriedigender Weise geklärt. Doch entspricht die Fütterung aus Glasschälchen nicht ganz dem Bienenbrauch. Ein Versuch, die Bedingungen etwas natürlicher zu gestalten, gibt sofort ein neues Rätsel auf.

Wir entfernen das Glasschälchen vom Futterplatz und bieten nun unseren numerierten Bienen daselbst z. B. einen kleinen Strauß von *Cyclamen*, deren Blütengrund wir reichlich mit Zuckerwasser versehen. Sie sammeln, sie tanzen im Stock. Neue Scharen ziehen aus und begeben sich nach allen Seiten auf die Suche. Aber sie suchen mit bestimmtem Ziel. Denn wenn wir irgendwo in der Umgebung einen *Cyclamen*strauß und daneben etwa einen Strauß *Phlox*blüten in die Wiese stellen (beide ohne Zuckerwasser), so bleiben die Phloxblüten völlig unbeachtet, aber Dutzende von Bienen durchstöbern den Cyclamenstrauß mit einer Hartnäckigkeit, die zu seinen spärlichen Nektarmengen in keinem Verhältnis steht. Wenn wir aber am Futterplatz den Cyclamenstrauß entfernen und durch einen Zuckerwasser gefüllten Phloxstrauß ersetzen, ändert sich auch am Beobachtungsplatz das Bild, das Interesse für die Cyclamen erlahmt in kurzer Zeit, und in steigendem Maße wenden sich die herankommenden Neulinge den Phloxblüten zu und wühlen in ihnen herum, obwohl ihnen deren tief geborgener Nektar ganz unzugänglich ist. Die Tänzerinnen haben also ihre Stockgenossen nicht nur von dem Bestehen einer reichen Tracht benachrichtigt, sie haben auch die Blumensorte verkündet, die die Spenderin war. Es ist nicht schwer zu erraten, daß keine ausgedehnten botanischen Kenntnisse der Bienen, daß keine gelehrten Pflanzennamen, sondern daß der *Blütenduft* das Verständigungsmittel ist. Der Duft jener Blüten, aus denen die Bienen den süßen Saft gesogen haben, haftet ihrem Körper noch an, wenn sie im Stock ihre Tänze vollführen; diesen Duft bemerken die Stockgenossen, und prägen ihn ihrem Gedächtnis ein[1]), während sie auf der Wabe der Tänzerin nachtrippeln und deren Hinterleib so beflissen mit ihren Riechwerkzeugen, den Fühlern, untersuchen. Wenn sie dann ausschwärmen, kennen sie bereits den Duft der Blumen, aus denen ihre Kameradin erfolgreich gesammelt hat und suchen nach eben diesem Duft, wenn sie die Gegend abstreifen.

Ich will Sie nicht mit einer langen Beweisführung ermüden, daß hier wirklich der anhaftende Blütenduft das Verständigungsmittel ist. Es genüge die Bemerkung, daß ich denselben Versuch, wie ich ihn vorhin für Cyclamen und Phlox geschildert habe, noch mit vielen anderen Blumen durchgeführt habe, stets mit positivem Erfolg, wenn den Blüten auch nur ein schwacher Duft eigen war; mit völlig duftlosen Blüten aber gelang der Versuch nicht. Auch wenn ich am Futterplatz meinen gezeichneten Bienen aus duftlosen, lebhaft gefärbten Kunstblumen Futter bot, wurden entsprechende, auf den umliegenden Wiesen aufgestellte Kunstblumen von den suchenden Neulingen nicht beflogen; gab ich aber den betreffenden künstlichen Futterblumen einen Tropfen eines ätherischen Öles bei, etwa Pfefferminzöl, so zeigten die ausschwärmenden Neulinge für jeden Gegenstand der näheren und weiteren Umgebung, wie immer er beschaffen war, das lebhafteste Interesse, sobald er nach Pfefferminz roch.

Hierin liegt also jene dritte Aufgabe des Blütenduftes, die ich vorhin angedeutet habe. Der Nutzen für die Bienen wie für die Pflanzen liegt auf der Hand. Denn wenn in einer Gegend eine neue Pflanzenart in Blüte kommt, so genügt die Entdeckung der duftenden Blumen durch *eine* Biene, und bald streifen deren Kameradinnen nach allen Richtungen auf der Suche nach jenem Duft über die Fluren. Dann fließt der erste Honigsegen dem Volk der Entdeckerin zu, die Blüten aber haben den Vorteil der baldigen und sicheren Bestäubung.

Bei aller Einfachheit leistet aber diese Verständigungsweise noch mehr. Würden die sammelnden Bienen immer fortfahren zu tanzen, so würden sie immer neue Scharen zu den entdeckten Blüten rufen, und schließlich vielleicht mehr, als zur Be-

[1]) Ich erinnere an ihr früher erwähntes, vorzügliches Gedächtnis für Düfte.

wältigung des Honigsegens nötig sind. Die Erfahrung lehrt, daß dies nicht geschieht, sondern daß in der Regel die Zahl der sammelnden Bienen zu der Menge der gebotenen Nahrung in einem angemessenen Verhältnis steht. Es ist, als würde auch über die Größe des benötigten Aufgebotes eine Verständigung stattfinden. Ein neuer Versuch bringt uns Aufschluß: Wir imitieren am Futterplatz *reiche Tracht*, indem wir ein gefülltes Zuckerwasserschälchen aufstellen und sorgen, daß es nicht leer wird. Die sammelnden Bienen tanzen im Stock, immer neue Scharen ziehen aus, immer weitere Neulinge finden auch den Futterplatz und gesellen sich zu den Sammlerinnen. Nun imitieren wir *spärliche Tracht*: wir ersetzen das Schälchen durch ein anderes, das nur mit Zuckerwasser durchfeuchtetes Fließpapier enthält. Mit unvermindertem Eifer setzen die Bienen ihre Sammeltätigkeit fort. Aber mühsam müssen sie saugen, um endlich nach harter Arbeit mit halbgefüllter Honigblase heimzukehren. *Nun tanzen sie nicht mehr*, und von da ab erhält auch ihre Schar keinen neuen Zuzug. Das gleiche gilt beim Sammeln an Blüten: sind diese reich an Nektar, so daß die Sammlerinnen in kurzem und mühelos ihren Honigmagen prall füllen können, so tanzen sie im Stock und werben dadurch neue Helferinnen an; sobald ihrer so viele sind, daß sie die Tracht bewältigen können, dann nimmt naturgemäß der Honigreichtum der einzelnen Blüten ab, die Tänze hören auf und die Zahl der Bienen bleibt auf ihrem Stande, der für die sich bietende Tracht ausreichend ist.

So schien die Verständigung der Bienen über reiche Honigtracht restlos aufgeklärt — bis mich die Ausführung eines naheliegenden Kontrollversuches eines anderen belehrte.

Ich errichtete *zwei* Futterplätze, die vom Bienenstock gleich weit entfernt, aber in entgegengesetzter Richtung lagen. An jedem Platze numerierte ich eine Anzahl Bienen und fütterte die eine Schar *reichlich* aus einem gefüllten Zuckerwasserschälchen, die andere *spärlich*, indem ich sie an Fließpapier saugen ließ. Die reich gefütterte Schar tanzt auf den Waben, die spärlich gefütterte Schar tanzt nicht. An beiden Plätzen wird das Futter auf duftloser Unterlage geboten. Die reich gefütterten Bienen können also bei ihren Tänzen den Stockgenossen keinen Duft übermitteln, der als Kennzeichen ihres Futterplatzes dienlich wäre. Daher ist zu erwarten, daß beide Scharen gleichen Zuwachs erhalten. Denn obwohl nur die eine Schar tanzt, werden doch die Neulinge, die nach allen Seiten ausschwärmen, sich beiden Plätzen etwa in gleicher Zahl nähern und dann durch den Anblick der sammelnden Tiere angelockt werden. Tatsächlich gesellen sich aber zu der reich gefütterten Schar stets etwa 10mal so viel Neulinge wie zu der spärlich gefütterten Gruppe. Genaueres Zusehen ließ bald das eine „Wort" erkennen, das uns zum Verständnis der Bienensprache noch fehlte. Die reich gefütterten Bienen stülpen, während sie beim Schälchen anfliegen und auch noch während sie sitzen und trinken ihr *Duftorgan* aus, eine drüsenreiche Hauttasche am Hinterleib nahe dem After (vgl. Fig. 2), die einen auch für die menschliche Nase wahrnehmbaren, fruchtätherartigen Duft ausströmt. Dieser Duft ist, wie ich durch besondere Versuche zeigen konnte, für die Biene ungeheuer intensiv und auf große Entfernung wirksam. Die Tiere, die zur spärlichen Trachtquelle fliegen, stülpen das Organ niemals aus. Der Geruch dieses Duftorgans ist es, der die suchenden Neulinge aus beträchtlichem Umkreis an den Ort zieht, wo es zu schaffen gibt, und ihnen sagt: hier ist der reiche Segen! Man kann die Bienen leicht am Ausstülpen des Duftorgans verhindern, indem man die Dufttasche mit Schellack überzieht. Wenn wir nun an beiden Futterplätzen reichlich füttern, und der einen Gruppe die Dufttaschen verkleben, dann tanzen beide Scharen im Stock, aber die Gruppe mit den verschlossenen Duftorganen erhält nur $^1/_{10}$ vom Zuwachs der anderen.

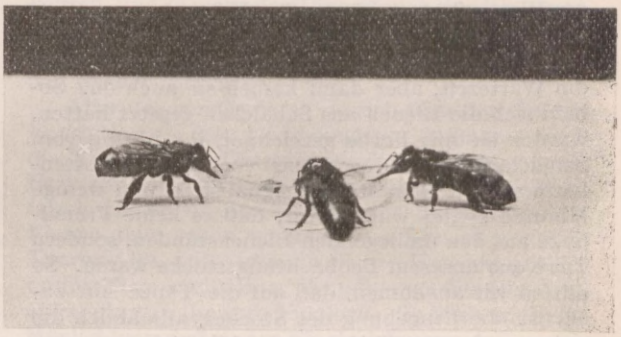


Fig. 2. Drei Bienen am Futterschälchen; das links sitzende Tier stülpt das *Duftorgan* aus, welches als schmaler, glänzender Wulst knapp vor der Hinterleibsspitze erkennbar ist (unter dem weißen ×). Die rechts sitzende Biene hat das Duftorgan eingezogen.

Wenn nun Witterungseinflüsse eine ergiebige Tracht vorübergehend versiegen lassen, oder wenn wir an unserem künstlichen Futterplatz mit der Fütterung pausieren, dann sieht man an der Trachtquelle nur einzelne Kundschafter der früheren Schar gelegentlich Nachschau halten. Ändern sich die Bedingungen, beginnt die Futterquelle wieder zu fließen, dann stellt sich, sobald die ersten Kundschafter mit gefülltem Magen heimkehren, die ganze Schar ihrer Kameraden mit überraschender Schnelligkeit am Schauplatz ihrer früheren Tätigkeit ein. Der gleiche Rundtanz, der die Neulinge in Bewegung setzt, ruft die beschäftigungslosen Gruppengenossen wieder auf den Plan. Auch hierbei spielt unter natürlichen Verhältnissen der Blütenduft eine wichtige Rolle. Hat aus dem gleichen Volk eine Schar von Bienen an Linden, eine andere an Robinien gesammelt, und beginnen nach einer Regenperiode die Linden wieder zu honigen, so alarmieren die erfolgreichen Kundschafter durch

ihre Tänze nur die Gruppengenossen und sie eilen hinaus zu der altbekannten Weide. Die Robinienschar aber verhält sich gegenüber den lindenduftenden Tänzerinnen gänzlich kühl und wartet in stoischer Ruhe auf eine Tänzerin, die den Robinienduft ins Haus trägt.

Nektar ist aber nicht die einzige Nahrung, deren die Bienen bedürfen. Bekanntlich tragen sie auch *Blütenstaub* in Form von „Höschen" an ihren Hinterbeinen in großen Mengen ein. Bei der weitgehenden Arbeitsteilung sind es fast stets andere Individuen, die Nektar, und andere, die Pollen sammeln. Auch die Pollensammler tanzen, wenn sie reiche Tracht gefunden haben. Ihr Tanz verläuft aber anders und ist auf den ersten Blick vom Rundtanz der Nektarsammler zu unterscheiden. Besonders charakteristisch für ihn ist eine schwänzelnde Bewegung der Tänzerin, wobei sie die Höschen, sofern sie dieselben noch nicht abgestreift hat, den interessiert nachtrippelnden Stockgenossen förmlich ans Gesicht schlägt und an die vorgestreckten Fühler, die Geruchsorgane. Der Pollen jeder Blüte hat seinen charakteristischen, vom Geruch der Blumenblätter meist abweichenden Duft. Und dieser Duft des mitgebrachten Blütenstaubes muß den Duft der Blumenblätter, mit denen die Biene nur in flüchtiger Berührung war, bei weitem überwiegen. Er ist es, der hier die Verständigung vermittelt.

Der Beweis hierfür ergibt sich aus einem einfachen Versuch, den ich zum Schlusse noch erwähnen will.

Wir bilden zwei Gruppen von numerierten Pollensammlern, von welchen die eine am Futterplatz *A* an *Rosenblüten*, die andere am Futterplatz *B* an großen *Glockenblumen* (Campanula medium) Blütenstaub sammelt. Nun pausieren wir mit der Fütterung, so daß nach einer Weile nur vereinzelte Kundschafter an beiden Plätzen Nachschau halten. Nun stellen wir am Platz der Glockenblumen Glockenblüten auf, deren Staubgefäße wir entfernt und durch die Staubgefäße aus Rosenblüten ersetzt haben, indem wir in jeder Glocke den Blütenboden einer Rosenblüte samt den von ihm entspringenden Staubblättern mit einer Insektennadel befestigten (vgl. Fig. 3 b). Nach einer Weile kommt ein Kundschafter der Glockengruppe und beginnt ohne langes Zaudern von der reichen Tracht einzuheimsen. Eine Biene der Glockenblumengruppe sammelt also am Glockenblumenplatz in Glockenblumen Blütenstaub von Rosen. Nach der Heimkehr beginnt sie zu tanzen. Sie kommt hierbei mit manchen Gruppengenossen von der Glockenschar in lebhafte Berührung, aber keine kümmert sich um sie oder läßt sich aus ihrer Ruhe stören. Die Rosensammler aber, denen sie sich nähert, stürzen auf sie zu, trippeln kurz hinter der Tanzenden her und fort sind sie hinaus — an den Rosenplatz, wo nichts zu holen ist und wo sie in ein paar hingelegten Blumenblättern von Rosen mit Ausdauer herumstöbern. Der Gegenversuch (vgl. Fig. 3 c, d) hatte ein völlig entsprechendes Resultat. Nur der Duft der Höschen kann die Bienen so getäuscht haben. Und da in der freien Natur keine frivole Hand die Pollenblätter vertauscht, ist er ihnen ein zuverlässiger Führer.

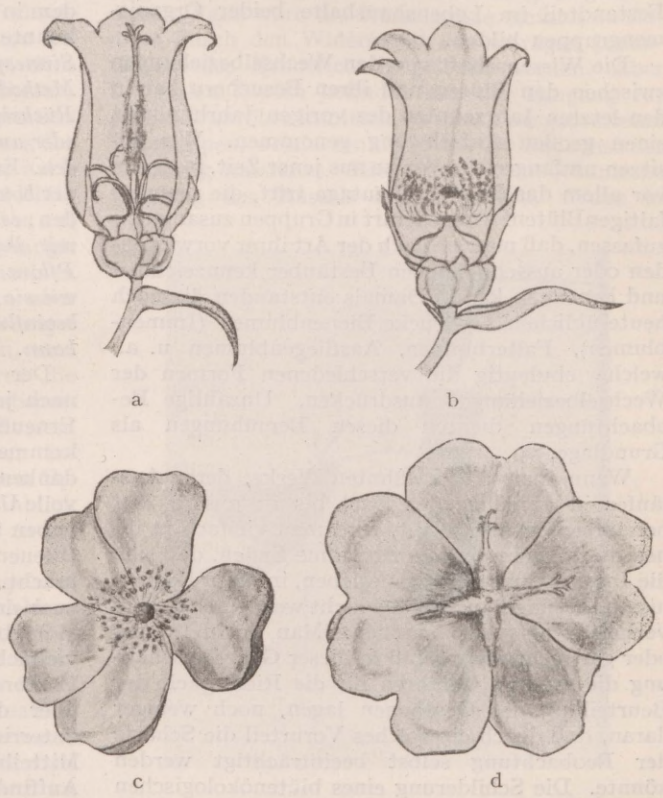


Fig. 3. a) Blüte einer Glockenblume (Campanula medium), ein Teil der Blumenkrone entfernt, um das Innere zu zeigen; der Blütenstaub von den zurückgekrümmten Staubgefäßen bleibt größtenteils am Griffel haften. b) Blüte der Glockenblume mit Staubgefäßen einer Rose (Rosa moschata). c) Rosenblüte. d) Rosenblüte, nach Entfernung der eigenen Staubgefäße mit 2 Griffeln samt anhaftendem Blütenstaub aus Glockenblumen versehen.

So hat uns die Sinnesphysiologie der Bienen weitab auf tierpsychologisches Gebiet geführt. Eine Zeichensprache hat sich uns erschlossen, die in ihrer Einfachheit auf jeden Beschauer Eindruck macht. Ein paar Bewegungen, ein bißchen Duft, den die Biene von den Blüten in den Stock hineinträgt, ein bißchen Duft, den sie draußen am Schauplatz ihrer Entdeckung selbst in die Luft entströmen läßt, vermitteln eine Verständigung, die kaum besser funktionieren und nicht einfacher gedacht werden könnte.

Blütenökologie und Sinnesphysiologie der Insekten.

Von FR. KNOLL, Prag.

Für jene Blüten, welche bei der Bestäubung auf fremde Hilfe angewiesen sind, spielt die Übertragung des Blütenstaubes durch *Insekten* die größte Rolle. Zwischen diesen Tieren und den von ihnen besuchten Blüten sind vielfach klare, andauernde Beziehungen vorhanden, welche einen wichtigen Bestandteil im Lebenshaushalte beider Organismengruppen bilden.

Die Wissenschaft von den Wechselbeziehungen zwischen den Blüten und ihren Besuchern hat in den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts einen großen Aufschwung genommen. Wir besitzen umfangreiche Werke aus jener Zeit, in denen vor allem das Bestreben zutage tritt, die mannigfaltigen Blütenformen derart in Gruppen zusammenzufassen, daß man sie nach der Art ihrer vorwiegenden oder ausschließlichen Bestäuber kennzeichnen und benennen kann. Damals entstanden die noch heute üblichen Ausdrücke Bienenblumen (Immenblumen), Falterblumen, Aasfliegenblumen u. a., welche eindeutig die verschiedenen Formen der Wechselbeziehungen ausdrücken. Unzählige Beobachtungen dienten diesen Bemühungen als Grundlage.

Wenn man die erwähnten Werke, deren Ausläufer in abnehmender Zahl bis in unsere Zeit hereinreichen, durchsieht, wird man vielfach in ihnen die stillschweigende Annahme finden, daß sich die Insekten in ihrem Sinnesleben, in ihren Bedürfnissen, Freuden und Leiden nicht wesentlich anders verhalten als wir Menschen. Man dachte wenig oder gar nicht daran, daß in dieser Grundanschauung die größten Gefahren für die Richtigkeit der Beurteilung des Gesehenen lagen, noch weniger daran, daß durch ein solches Vorurteil die Schärfe der Beobachtung selbst beeinträchtigt werden könnte. Die Schilderung eines blütenökologischen Vorganges glich dadurch oft mehr einer Tierfabel als einer wissenschaftlichen Darstellung. Solche „Tierfabeln" findet man in der blütenökologischen Literatur weit häufiger, als man glauben möchte. Eine kritische Naturforschung ist aber weder mit einer solchen Auffassung, noch mit einer derartigen Ausdrucksweise vereinbar. Die fortschreitende Entwicklung der Physiologie und Psychologie der blütenbesuchenden Tiere hat vielmehr längst ergeben, daß jenen äußeren Erscheinungen, die bei oberflächlicher Betrachtung dem Gebaren des Menschen unter bestimmten Umständen ähnlich sehen, ganz andere Beweggründe zuzuschreiben sind. Wir müssen also das Benehmen der Blüteninsekten *unvoreingenommen* als solches untersuchen und auch schon bei der Beobachtung die irreführenden Vergleiche mit dem Benehmen des Menschen meiden. Wir müssen vor allem *feststellen, wie die Blüte auf ihre Besucher wirkt und wie diese auf die Blütenteile zurückwirken.* Dabei sollen wir auch die Grenzen der Wirkungsmöglichkeiten kennenlernen. Da sich aber die Einstellung des Tieres mit Hilfe der *Sinnesorgane* vollzieht, so muß uns zuerst bekannt sein, *was die Sinnesorgane der Insekten zu leisten vermögen.*

Die Sinnesphysiologie der Insekten enthielt zwar mancherlei Erkenntnis, die ohne Hinblick auf den Blütenbesuch gewonnen wurde und trotzdem in unserem Arbeitsgebiete Verwendung finden konnte. *Den vollen Erfolg durften wir aber von der Sinnesphysiologie erst dann erwarten, wenn ihre Methoden bei bestimmten Blütenbesuchern eigens mit Rücksicht auf ihre Tätigkeit innerhalb der Blumen oder auf ihre Annäherung an diese angewendet wurden.* Erst mit Hilfe solcher Untersuchungen konnte der *botanische* Teil dieser Probleme aufgeklärt werden: *es konnte gezeigt werden, wie die Blüten und die mit ihnen in unmittelbarer Verbindung stehenden Pflanzenteile in die belebte Umwelt hinaus wirken und wie sie das Treiben der um sie vorhandenen Tiere so beeinflussen, daß die Bestäubung zustande kommen kann.*

Der Ausbau der Sinnesphysiologie der Insekten nach jener Richtung, aus der die Reinigung und Erneuerung der Blütenökologie („Blütenbiologie") kommen muß, ist bereits in vollem Gange. So verdanken wir K. VON FRISCH zahlreiche überaus wertvolle Untersuchungen über die Honigbiene[1]). Diese haben unserer Kenntnis von den „Immenblumen" (Bienenblumen) den allergrößten Fortschritt gebracht. Wir wissen nun, daß sowohl die Farbe als auch der Duft der Blumen beim Blütenbesuch der Honigbiene eine wichtige Rolle spielt. Wir kennen vielfach auch die Grenzen, innerhalb deren diese Faktoren einzeln wirksam sind; ebenso sind wir über das Zusammenwirken beider ausreichend unterrichtet. Wir wissen ferner, wie weit das Mitteilungsvermögen („Sprache") der Bienen am Auffinden der Blumen beteiligt sein kann. Die Versuche von KÜHN und POHL haben weitere Fortschritte unserer Kenntnisse vom Farbensehen der Bienen gebracht[2]). ARMBRUSTER studierte das Farbensehen der Wespen[3]), die ebenfalls an Blüten tätig sein können. Ich selbst habe verschie-

[1]) K. v. FRISCH, Der Farbensinn und Formensinn der Biene. (Sonderabdruck aus den Zool. Jahrb. Bd. 35.) Jena 1914. — Über den Geruchsinn der Biene und seine blütenbiologische Bedeutung. (Sonderabdruck a. d. Zool. Jahrb. Bd. 37.) Jena 1919. — Methoden sinnesphysiologischer und psychologischer Untersuchungen an Bienen, in: ABDERHALDEN, Handb. biol. Arbeitsmethoden; Berlin und Wien 1922. — Über die Sprache der Bienen. (Sonderabdruck a. d. Zool. Jahrb. Bd. 40.) Jena 1923.

[2]) A. KÜHN und R. POHL, Dressurfähigkeit der Bienen auf Spektrallinien, in: Die Naturwissenschaften Jg. 9 (1921), S. 738—740. — A. KÜHN, Zum Nachweis des Farbenunterscheidungsvermögens der Bienen, ebenda, Jg. 12 (1924), S. 116—118.

[3]) L. ARMBRUSTER, Über das Farbensehen bei Wespen, in: Naturwiss. Wochenschr., N. F. XXI (1922), S. 419—422.

dene andere Insektentypen auf ihr sinnesphysiologisches Verhalten gegenüber den Auswirkungen der Blumen genau untersucht. Davon sind bis jetzt die Untersuchungen über Blumenfliegen (*Bombylius*) und die über den Taubenschwanz (*Macroglossum*) ausführlich veröffentlicht[1]). Eine Arbeit über Abendschwärmer und Schwärmerblumen wird bald erscheinen.

Das sinnesphysiologische Experiment vermag nicht nur allgemeine Aufschlüsse über die Wechselbeziehungen zwischen Blumen und Insekten zu geben, es klärt uns auch über verschiedene, dem Blütenökologen wichtig erscheinende Einzelheiten der Blüte auf. Wir erhalten nicht nur Kenntnis davon, wie das die Blüte besuchende Insekt aus der Ferne den Weg zu ihr findet, wir erfahren auch noch, in welcher Weise die einzelnen Teile der Blüte so auf das herannahende Tier einwirken, daß es auf kurzem Wege zum Pollen oder Nektar gelangt. Diese Einwirkung kann entweder im einzelnen Falle unmittelbar vor sich gehen, sie kann aber auch unter Mitwirkung eines mehr oder weniger ausgebildeten „Gedächtnisses" so geschehen, daß vorausgegangene „Erfahrungen" des Tieres die Tätigkeit vor und innerhalb der Blume in bestimmter Art und in bestimmtem Ausmaße beeinflussen. Und gerade dieses „Gedächtnis" einzelner Insekten ist es, das für unsere Zwecke mit bestem Erfolge ausgenützt werden kann, um einen Einblick in die Wirksamkeit bestimmter Blütenteile zu gewinnen.

Wie die eben vorgetragenen Gedankengänge zum Ziele führen, will ich an einem Beispiel aus meinem eigenen Arbeitsgebiete auseinandersetzen. Der Taubenschwanz (*Macroglossum stellatarum*) nährt sich im Falterzustand nur vom Zuckersafte (Nektar) der Blumen. Während der Nektarentnahme vermag dieses Tier vielen Blüten in ausgezeichneter Weise die Bestäubung zu sichern. Dabei sieht man oft mit Erstaunen, daß der Taubenschwanz an manchen Blumen den Rüssel mit Sicherheit jener Stelle nähert, wo der Nektar zu finden ist. Nehmen wir an, es handle sich um eine Blüte, welche nach dem Typus der *Primula*-Blüte gebaut ist. *Wie findet das Tier den innen am Grunde der Röhre befindlichen Nektar?* Oder anders gesagt: Welche Einzelheiten der Blüte wirken so auf den Falter ein, daß er rasch zum Nektar gelangt? Zunächst wird man vermuten, daß der Nektar einen dem Schwärmer leicht wahrnehmbaren besonderen Duft besitzt, der das Auffinden erleichtert. Durch einfache Versuche, auf die ich hier nicht eingehe, konnte der Nachweis erbracht werden, daß die Schmetterlinge nicht imstande sind, Zuckerlösungen mit Hilfe der Geruchsorgane (Fühler) aufzuspüren. Somit kann der Falter von der Blume nur mechanisch oder optisch zum Nektar hingeführt werden. Wenn die Blumenkrone einen Trichter bildet, an dessen Grunde sich der Nektar befindet, dann kann der oben am Trichterrande aufgesetzte Falterrüssel, bei seiner normalen Abwärtsbewegung an der Wand hingleitend, leicht und sicher zum Futter gelangen. In diesem Falle wäre die Rüsselspitze einfach *mechanisch* durch den Widerstand der schrägen Innenflächen des Krontrichters gelenkt worden. Aber bei vielen Blüten befindet sich der Eingang zur engen Kronröhre inmitten von flach ausgebreiteten Kronlappen, welche senkrecht zur Röhrenachse der Mündung aufsitzen. Hier wäre eine mechanische Führung des Rüssels ausgeschlossen. Wenn in

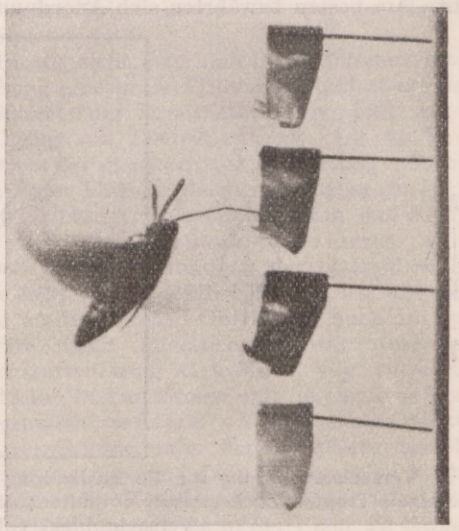


Fig. 1. Ein Taubenschwanz, der im Flugkasten aus einem violetten Futtergefäß Zuckerwasser saugt. — Verkleinert (3/4).

einem solchen Falle das Auffinden des Einganges nicht bloß zufällig infolge der „Streuung" der Rüsselspitzenbewegung erfolgt, kann die Lenkung des Rüssels nur mit Hilfe des Gesichtssinns, also *optisch* vor sich gehen.

Zunächst will ich mit wenigen Worten andeuten, welche *Vorbereitungen* und *Behelfe* für eine solche Untersuchung nötig sind. Bei jedem physiologischen Tierexperiment muß man danach trachten, die Umwelt möglichst einfach und übersichtlich zu gestalten. Dies gelang mir bei den Taubenschwänzen am besten dadurch, daß ich sie in der Gefangenschaft hielt und ihr Leben so regelte, daß ihre Lebensdauer und ihre Leistungsfähigkeit sich nicht wesentlich von der frei lebender Tiere unterschied. Jede Fütterung der Schwärmer war mit einem Versuch verbunden, und alles, was ich beobachtete, wurde genauestens nach Versuchs-

[1]) FR. KNOLL, Insekten und Blumen: I. Zeitgemäße Ziele und Methoden für das Studium der ökol. Wechselbeziehungen; II. *Bombylius fuliginosus* und die Farbe der Blumen; III. Lichtsinn und Blumenbesuch des Falters von *Macroglossum stellatarum*. (In: Abhandl. d. Zool.-bot. Gesellsch. Wien, Bd. 12, H. 1 und 2. 1921.) — Der Tierversuch im Dienste der Blütenökologie, in: Berichte der Dtsch. bot. Gesellsch., Bd. XL (1922, Generalversammlungsheft), S. (30)—(40).

tieren gesondert verbucht. Statt natürlicher Blumen und neben diesen verwendete ich meistens farbige Futtergefäße, die in ihrer optischen Wirkung jenen gleichkamen. Als Futter diente Zuckerwasser, hergestellt aus gleichen Teilen Rohrzucker (Raffinade) und Wasser. Zur Einengung des Flugraumes benutzte ich einen würfelförmigen Flugkasten (Beobachtungskasten) von 50 cm Seitenlänge, wodurch die Beobachtung wesentlich erleichtert und verbessert werden konnte[1]).

Fig. 1 zeigt einen Schwärmer, der im Sonnenschein innerhalb des Flugkastens aus einem farbigen Futtergefäße mit weit vorgestrecktem Rüssel Zuckerwasser saugt. In diesem Falle waren die Futtergefäße zur Erleichterung der photographischen Aufnahme in einer vertikalen Reihe angeordnet. Bei den Versuchen waren die Futtergefäße jedoch meistens in einer horizontalen Reihe angebracht. Am besten bewährten sich Anordnungen, befindlichen flachen Versuchsobjekte den Rüssel ausstreckte und mit diesem die Glasfläche über dem Objekte berührte. Geschah dies, dann wurde der Zuckerwasserrest, der noch vom Saugen her an der Rüsselspitze haftete, in Form von zarten Strichen und Punkten auf die blanke Glasplatte übertragen. Durch Bestäubung mit trockenem Mennigpulver ließen sich diese Rüsselspuren nachträglich gut sichtbar machen (Rüsselspurenpräparate). An der Hand einer solchen vom Falter selbst ausgeführten Niederschrift seines Benehmens am Versuchsobjekte ließ sich nach der Beendigung des Versuches leicht und sicher des Ergebnis der unmittelbaren Beobachtung nochmals nachprüfen.

Indem wir uns nach diesen Vorbemerkungen nun wieder dem Problem der Auffindung des Blüteneinganges zuwenden, wollen wir zunächst folgende Frage aufwerfen: Was veranlaßt den Schwärmer beim Besuch einer Blüte, die nach dem Muster

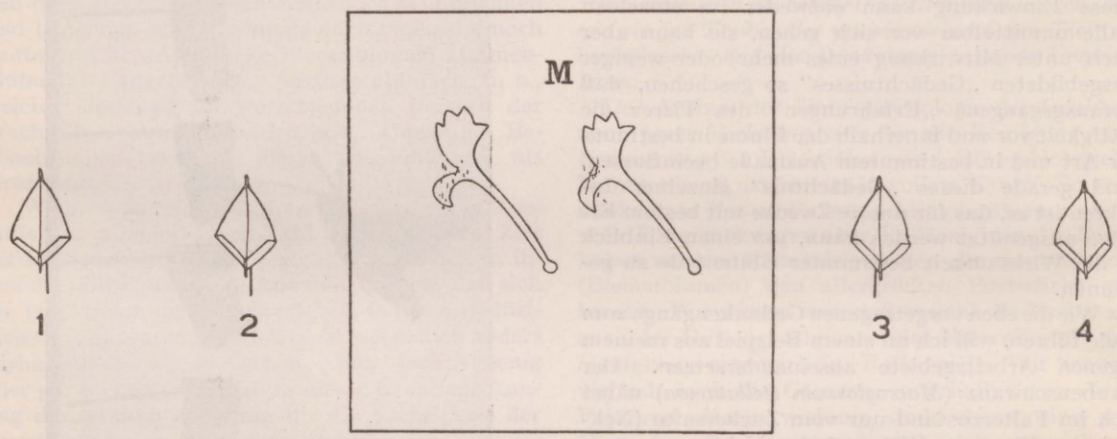


Fig. 2. Versuchsanordnung für die Anwendung der Rüsselspurenmethode. 1, 2, 3, 4 = farbige Futtergefäße, die je einen Tropfen Zuckerwasser enthalten; *M*-Mittelstück der Anordnung, das unter einer Glasplatte das Versuchsobjekt enthält. — $^2/_3$ der natürl. Größe.

die nach Art der Fig. 2 hergestellt wurden, wobei natürlich verschiedene Abänderungen möglich und oft nötig waren. In dem abgebildeten Beispiel standen je zwei schiffchenförmige Futtergefäße (der in Fig. 1 sichtbaren Form) rechts und links von dem Mittelstück (*M*), welches das eigentliche Versuchsobjekt enthielt. An diesem mußten die Versuchstiere ihr Verhalten zeigen, wenn sie von der einen Seite der Anordnung zur anderen hinüberflogen. Als Unterlage solcher Anordnungen dienten ebene Torfplatten, die mit grauem Papier gemessener Helligkeit glatt überzogen waren; in diese „Stecktafeln" wurden die Futtergefäße mit ihren aus dünnen Nadeln bestehenden Stielen in passender Stellung eingesteckt. Wenn nun ein Taubenschwanz bei einer der Fig. 2 entsprechenden Versuchsanordnung zuerst aus den Futtergefäßen 1 und 2 saugte und dann zum Futtergefäß 3 hinüberflog, so war Gelegenheit vorhanden, daß das Tier auch vor dem unter der Glasplatte des Mittelstückes *M*

[1]) Hinsichtlich der Versuchsbehelfe sind die Ausführungen in: Insekten und Blumen, III, zu vergleichen.

von *Primula* geformt ist, wohl die Fläche um den Blüteneingang, nicht aber den schmalen, röhrenförmigen Teil mit dem Rüssel von außen her zu berühren? Um diese Frage zu beantworten, wählt man am besten Blütenformen aus, deren Kronröhre möglichst lang ist. Einen solchen Fall stellt die Blüte von *Lonicera caprifolium* (Geißblatt) und verwandter Arten dar. Bietet man solche Blüten dem Falter unter der Glasplatte des Mittelstückes in verschiedenen Stellungen dar, so wird das Tier stets die verbreiterten Teile um den Röhreneingang mit dem Rüssel berühren, aber die schmalen Röhrenabschnitte nicht beachten. Da bei natürlichen Blüten stets die einzelnen Teile in ihrer optischen Beschaffenheit mehr oder weniger voneinander abweichen, wird die Untersuchung sich noch sicherer gestalten, wenn man statt des natürlichen Objektes ein gleichmäßig gefärbtes künstliches wählt, das in der Gestalt (Umriß) mit jenem übereinstimmt. Fig. 2 zeigt einen solchen Versuch, bei welchem dem Taubenschwanz zwischen gelben Futtergefäßen mit Zuckerwasser unter der Glas-

platte des Mittelstückes zwei gelbe, ebene Blütennachbildungen von *Lonicera implexa* dargeboten wurden. Die in der Abbildung wiedergegebenen Rüsselspuren zeigen die Stelle, an der die Berührungen mit dem Rüssel erfolgten. Hatte ich bei einem weiteren Versuche demselben Tier dieselben Blütennachbildungen in verkehrter Stellung dargeboten, dann wurden wieder nur die verbreiterten, diesmal abwärts gekehrten Teile mit dem Rüssel berührt (Fig. 3 a). Da die Objekte unter Glas dargeboten wurden, läßt das Versuchsergebnis erkennen, daß in diesen Fällen der Schwärmer *ohne Mitwirkung eines Duftes rein optisch* zu den verbreiterten Blütenteilen geführt wurde. Daß es sich hier um die *verschieden starke Nahwirkung verschieden großer Flächenteile* der Blütenform handelt, ließ sich leicht zeigen, wenn ich dem Falter gelbe geometrische Flächenformen von der in Fig. 3 b, c und d abgebildeten Gestalt und Größe vorlegte. Die in den Figuren sichtbaren Rüsselspuren gestatten auch ohne Angabe der Besuchszahlen ein klares Urteil[1]). War die geometrische Grundform in kleine kreisförmige Scheibchen zerlegt, welche für sich allein keine (oder keine nennenswerte) Beachtung fanden, so wurden sie doch besucht, wenn sie in größeren Anhäufungen (Fig. 3 e) beisammenstanden. Dadurch konnte gezeigt werden, daß eine Anzahl kleiner Kronblätter, die eng beisammen um einen Blüteneingang stehen, unter Umständen die Bewegung des Falterrüssels auf optischem Wege so lenken kann, daß seine Spitze in die Öffnung der Kronröhre gelangt.

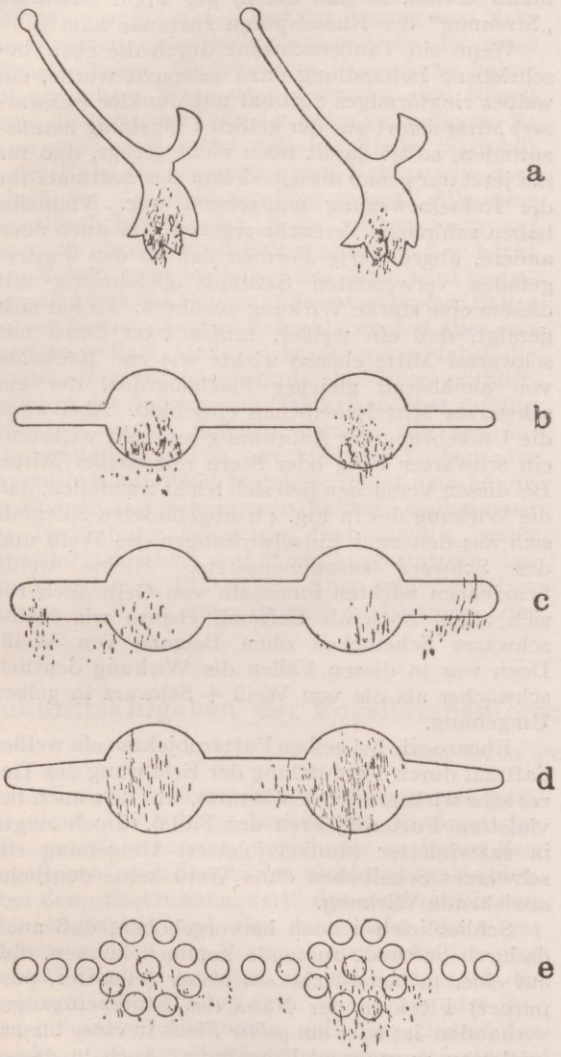


Fig. 3. a = Rüsselspuren über einer verkehrt gestellten *Lonicera*-Form; b, c, d = optische Wirkung verschieden großer, farbiger Flächenteile, im Anschluß an den *Lonicera*-Versuch (Rüsselspuren); e = Auflösung der Gesamtform in kleinere Kreisscheibchen (Rüsselspuren über den beiden verbreiterten Stellen). — Alles in natürlicher Größe.

Häufig sieht man, daß beim Blüteneingang die Färbung eine *größere Sättigung* besitzt als an der Außenseite der Kronröhre. So verhält sich z. B. die Blüte von *Linaria vulgaris*. Da der Taubenschwanz bei gleichzeitiger Darbietung verschieden gesättigter Flächen gleichen Farbtons die gesättigteren bevorzugt, ist damit dargetan, daß der Falter bei einer solchen *Linaria*-Blüte durch den sattgelben Fleck (Saftmal) an der blaßgelben Krone zum Nektarraum geführt wird. Dies läßt sich sowohl am natürlichen Objekt als auch am optisch gleichwertigen künstlichen unter Ausschaltung jeder Duftwirkung nachweisen. Fig. 4 a zeigt zwei blaßgelbe Biskuitformen mit je einem sattgelben, kreisrunden „Saftmale". Wurden diese Objekte auf grauem Grunde unter der Glasplatte des Mittelstückes dargeboten, dann zeigten sich nach den Besuchen die Rüsselspuren auf der Glasfläche in der Verteilung, wie sie in der Figur 4 a dargestellt sind: die Rüsselspuren liegen nur über jenen Hälften der Biskuitform, welche das „Saftmal" enthält[2]).

Die bisher beschriebenen Fälle gestatteten dem Falter das Auffinden des Blüteneinganges, ohne daß hierzu eine besondere, bei Blütenbesuchen gewonnene Erfahrung des Tieres nötig war. Doch gibt es auch Blüten, bei denen das optische Auffinden des Nektarraumes an einen gewissen Grad von *Erfahrung* gebunden sein kann. Dies zeigt folgende Beobachtung, die man leicht bei Flugkastenversuchen machen kann. Nachdem man dem Taubenschwanz durch längere Zeit das Futter z. B. in gleichmäßig sattgelben Futtergefäßen von trichterförmiger Gestalt dargeboten hatte, findet das Tier stets rasch den am Grunde der Trichter befindlichen

[1]) Wie solche und andere Versuchsobjekte in der Weise angefertigt werden können, daß sie als „Diapositive" zu Projektionszwecken verwendbar sind, ist in den Ber. d. Dtsch. bot. Gesellsch. XL (1922) beschrieben.

[2]) Solche Versuche wurden auch mit Violett verschiedener Sättigung ausgeführt. Sattviolette Saftmale in weniger gesättigter Umgebung erwiesen sich als sehr wirksam. (Vgl. Insekten und Blumen III, S. 323—326.)

Zuckerwassertropfen. Wenn man dann demselben Falter unvermittelt das Zuckerwasser in sattgelben Futtergefäßen darbietet, bei welchen der Zugang zum Futter innerhalb eines schmalen, weißen Ringes („Saftmal") durch ein kleines Loch offensteht, dann findet das Tier zunächst bei diesen neuen Objekten das Zuckerwasser nicht[1]). Es betrommelt oft lange die gelbe Fläche eines solchen neuen Futtergefäßes mit der Rüsselspitze, ohne den weißen Ring zu beachten, fliegt dann auf das benachbarte Futtergefäß zu, benimmt sich dort ebenso, bis es schließlich zufällig beim Abtrommeln infolge der Streuung der Rüsselspitzenbewegung mit dem Rüssel in das weißgeränderte Loch und damit in das Zuckerwasser gelangt. Sobald aber die Rüsselspitze sich im Zuckerwasser befindet, wird die „Suchbewegung" eingestellt und das Tier beginnt zu saugen, bis es den letzten erreichbaren Rest des Zuckerwassers in sich aufgenommen hat. Während des Saugens wirkt nun das Bild des neuen „Saftmals" auf dem Wege über die Fazettenaugen

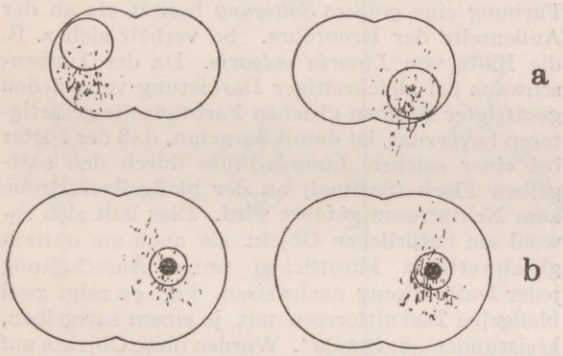


Fig. 4. Saftmalversuche. a = Sattgelbe Saftmale auf weniger gesättigtem Gelb; b = weiße Ringe mit schwarzer Mitte als Saftmale. Biskuittform gelb. Rüsselspuren nur auf den Saftmalen und in deren nächster Nähe (Streuung). — Natürl. Größe.

auf das Tier ein, es bildet sich in ihm ein Engramm „Weiß + Schwarz (Loch) in Gelb". Sobald sich der Falter nun einem weiteren Futtergefäß der gleichen Art zuwendet, findet er infolge dieser „Erfahrung" schon rascher das Zuckerwasser innerhalb des Saftmals, und es währte bei solchen Fütterungen nicht lange, bis der Taubenschwanz bei jeder Annäherung an ein derartiges Futtergefäß sofort den Rüssel gegen den weißen Ring ausstreckte und dadurch rasch zum Zuckerwasser gelangte. Wenn diese Bindung an das Saftmal durch länger dauernde Erfahrung gefestigt ist, kann man dem Falter zwischen den Futtergefäßen die in Fig. 4 b wiedergegebenen Objekte unter Glas darbieten. Diese Versuchsobjekte bestehen aus zwei sattgelben Biskuitformen, deren jede in einer Hälfte einen weißen Ring mit schwarzer Mitte trägt. Bei dem in der Fig. 4 b an den Rüsselspuren sichtbaren Versuchserfolg erhielten die mit „Saftmalen" versehenen Hälften der Biskuitformen zusammen 41 Besuche eines und desselben Tieres, während die gleichmäßig gelben anderen Hälften von ihm nicht beachtet wurden. Dabei ist hervorzuheben, daß die Bewegung der Rüsselspitze bei der Annäherung an den weißen Ring meistens sehr gut gezielt erfolgte; da das Tier aber dort keine Öffnung fand, führte dann eine Art „Suchbewegung" die Rüsselspitze auch in der unmittelbaren Nachbarschaft des Saftmales herum, so daß die in der Figur sichtbare „Streuung" der Rüsselspuren zustande kam[1]).

Wenn ein Taubenschwanz durch die eben beschriebene Behandlung dazu gebracht wurde, ein weißes ringförmiges Saftmal mit dunkler (schwarzer) Mitte sofort aus der gelben Umgebung herauszufinden, so ist damit noch nicht gesagt, daß für ihn jetzt nur genau dieselbe Form des Saftmals für die Rüsselbewegung maßgebend war. Vielmehr haben zahlreiche Versuche ergeben, daß auch noch andere, abgeänderte Formen des an den Futtergefäßen verwendeten Saftmals gleichzeitig mit diesem eine starke Wirkung ausübten. Es hat sich gezeigt, daß ein weißer, fünfzackiger Stern mit schwarzer Mitte ebenso wirkte wie ein Kreisring von annähernd gleicher Flächengröße, der ein schwarzes Mittelscheibchen einschloß. Aber auch die Umkehrung der Anordnung war sehr wirksam: ein schwarzer Ring oder Stern mit weißer Mitte. Bei diesen Versuchen ließ sich leicht feststellen, daß die Wirkung des in Fig. 4 b abgebildeten Saftmals sich aus den zwei Einzelwirkungen des Weiß und des Schwarz zusammensetzte. Kleine weiße Scheibchen wirkten innerhalb von Gelb auch für sich allein noch als Saftmal, ebenso wie kleine schwarze Scheibchen ohne Beigabe von Weiß. Doch war in diesen Fällen die Wirkung deutlich schwächer als die von Weiß + Schwarz in gelber Umgebung.

Ebenso wie bei gelben Futterobjekten ein weißes Saftmal durch Vermittlung der Erfahrung des Tieres sehr wirksam werden konnte, war dies auch bei violetten Futterobjekten der Fall[2]). Doch zeigte in sattvioletter (dunkelvioletter) Umgebung ein schwarzes Scheibchen ohne Weiß keine deutliche anziehende Wirkung.

Schließlich sei noch hervorgehoben, daß auch dadurch Saftmale zustande kommen können, daß auf einer gelben Fläche ein *blauer* (violetter, purpurner) Fleck in der Nähe des Blüteneinganges vorhanden ist oder ein *gelber* Fleck in einer blauen (violetten, purpurnen) Umgebung. Auch in diesen Fällen spielt die Erfahrung des Tieres eine wichtige Rolle. Alle diese Orientierungsbewegungen geschehen bei dem genannten Schwärmer ohne Mitwirkung des Blütenduftes.

Fassen wir das bisher Gesagte zusammen, so

[1]) Über solche Futtergefäße vgl. Ber. d. Dtsch. bot. Gesellsch. XL (1922), S. (33) f.

[1]) Die Versuche mit weiß + schwarzem Saftmal auf gelbem Grunde werden hier zum ersten Male veröffentlicht. Eine ausführliche Wiedergabe aller dieser Versuchsergebnisse wird an anderer Stelle erfolgen.

[2]) In Kürze veröffentlicht in den Ber. d. Dtsch. bot. Gesellsch. XL (1922), S. 32 ff.

können wir folgende Antwort auf die oben aufgeworfene Frage geben: Bei kleinen Blüten (von wenigen Millimetern Durchmesser) mit frei liegendem Nektar sind keine besonderen Vorkehrungen zum Auffinden des Nektars notwendig: der Taubenschwanz findet dort den Nektar „zufällig" mit Hilfe der natürlichen Streuung der Rüsselspitzenbewegung. Bei größeren trichterförmigen Blüten mit offenstehender Mündung wird die Rüsselspitze mechanisch zu dem am Grunde der Krone liegenden Nektarvorrat gelenkt. Liegt der Zugang zum Nektar inmitten einer verbreiterten Stelle der sonst schmal röhrigen Blumenkrone, so wird der Falter auf optischem Wege dazu gebracht, den Rüssel gegen die breiteren Teile der Blüte zu bewegen. Es kann auch eine satter gefärbte Stelle (Saftmal) in der Nähe des Einganges zum Nektarraum dem Schwärmer den richtigen Weg weisen. Alle diese Eigentümlichkeiten der Blüte wirken auch auf den noch unerfahrenen Falter so ein, daß er leicht zum Nektar gelangen kann; aus ihnen wird besonders ein frisch der Puppenhülle entschlüpfter Falter Nutzen ziehen. Andere Saftmale werden aber erst dann in vollem Maße wirksam, wenn dabei die Blumenerfahrung (Gedächtnis) des Tieres mithilft, nachdem der Zugang zum Nektar zunächst zufällig gefunden wurde. Solche Saftmale, die aus Zusammenstellungen von verschiedenen Farben oder aus solchen mit Weiß bestehen, findet man häufig an Blumen mit geborgenem Nektar; sie kommen der Bestäubung besonders dann zugute, wenn entweder zahlreiche mit ihnen ausgestattete, bestäubungsfähige Blüten an einer und derselben Pflanze (z. B. an einen Baume) vorkommen, oder wenn zahlreiche Pflanzen der gleichen Art in ausgedehnteren Beständen beisammen sind.

Für Schwärmer, welche frei vor der Blüte schwebend ihren Rüssel in den Nektarraum einführen, kommt auch noch folgendes in Betracht. Der Schwärmer hält sich im Fluge stets so, daß die Symmetrieebene seines Körpers mit der Richtung der Schwerkraft zusammenfällt. In der gleichen Ebene findet auch das Aufrollen das Rüssels statt und die zum Einführen des Rüssels notwendige Bewegung der Rüsselbasis, sowie die der einzelnen Rüsselsegmente. Überdies stellt sich das Tier beim Anflug gewöhnlich so zum Lichte ein, daß es sich vom stärksten Lichte abwendet. Dieser Bewegungsweise des Schwärmers kommen die auf den Schwärmerbesuch angewiesenen Blüten dadurch entgegen, daß sie (mit Hilfe des negativen Geotropismus der Blütenstiele oder Kornröhren) den Blüteneingang meistens nach oben kehren und zugleich (durch phototropische Wachstumsbewegungen) dem Lichte zuwenden. Der Blütenduft scheint jedoch beim Blütenbesuch dieses Tieres keine Rolle zu spielen.

So hat die Berücksichtigung der Sinnesphysiologie des Taubenschwanzes zahlreiche Aufschlüsse über die Einzelheiten seines Blütenbesuches gebracht. Durch die dabei gewonnenen tierphysiologischen Tatsachen konnte dann erst die Ökologie der von ihm besuchten Blüten und Blütenteile so geklärt und gefördert werden, wie es die kritische Naturforschung verlangt. Aufgabe der Zukunft ist es nun, mit Hilfe ähnlicher Methoden nach und nach das ganze Gebiet der Blütenökologie auf eine feste Grundlage zu stellen.

Zukunftsaufgaben der Vogelblumenforschung auf Grund neuesten Tatbestandes.

Von OTTO PORSCH, Wien.

Daß es viele Tausende von Pflanzenarten gibt, bei deren Bestäubung bestimmten Insekten der Löwenanteil zukommt, wird heute auch von den eingefleischtesten Skeptikern nicht mehr geleugnet. Über den „Bestäubungswert" der ausgesprochenen Blumeninsekten sind also derzeit die Akten geschlossen. Und die Vorträge meiner beiden verehrten Vorredner beweisen ebenfalls, daß auch die *modernste* Blütenbiologie in der Frage der Insektenblumen vollkommen auf dem Boden der Anerkennung des Bestäubungswertes der eigentlichen Blumeninsekten steht. Sie hat ja mit dem Rüstzeug exakter Versuchsanstellung geradezu eine wesentliche Vertiefung unserer Erkenntnis der Innigkeit der Wechselbeziehungen zwischen Blume und Blumeninsekt angebahnt.

Anders steht es auf dem Gebiete der *Vogelblumenforschung*. Die Tatsache der Existenz ausgesprochener Vogelblumen, deren ± regelmäßige Bestäubung durch Vögel und ihre Anpassung an die Vogelbestäubung werden zwar anerkannt, aber die Rolle, welche die Vogelblumen und ihre Bestäuber im Haushalte des tropischen und subtropischen Blumenlebens spielen, wird auch heute und zwar gerade von den Fachleuten ganz allgemein weit unterschätzt. Die Vogelblumen werden daher in den blütenbiologischen Darstellungen gewöhnlich mehr als ein interessanter Ausnahmsfall von geringer allgemein biologischer Bedeutung abgehandelt. Dabei hängt diese Unterschätzung nur zum Teile damit zusammen, daß gegenwärtig bloß ein verschwindend kleiner Teil der Fülle tatsächlich existierender Vogelblumen auf ihren Blütenbau und die Erscheinungen ihres Bestäubungslebens hin wirklich eingehend untersucht ist.

Ich will daher, soweit dies in der kurzen Spanne Zeit, die mir hierfür zur Verfügung steht, überhaupt möglich ist, versuchen, der wahren Bedeutung des Typus „Vogelblume" für das Blumenleben der Tropen und Subtropen zur Anerkennung zu verhelfen und auf Grund neuesten Tatbestandes sowie eigener Untersuchungen die wichtigsten Zukunftsaufgaben der Vogelblumenforschung kurz charakterisieren. Bezüglich der ausführlichen Einzel-

begründung verweise ich auf meine eben erschienene Spezialarbeit[1]).

Für den der Gesamtfrage ferner Stehenden seien folgende erläuternde Daten vorausgeschickt.

Vogelblumen sind gegenwärtig im allgemeinen auf die Tropen und Subtropen beschränkte Blumen, für deren Bestäubung im Gegensatz zu den Insektenblumen in ihrem Körperbau an die Nektargewinnung angepaßte Vögel ausschlaggebend sind

Fig. 1—2. *Tropaeolum pentaphyllum*, eine Kolibriblume aus dem tropischen Südamerika.

Fig. 1. Teil einer blühenden Pflanze. Blüten meist im ersten, männlichen Blütenzustande, d. h. die Staubbeutel offen und vorgestreckt, die Narbenlappen noch geschlossen. Verkleinert.

Fig. 2. Längsschnitt durch die Blüte im zweiten, weiblichen Zustande, in natürlicher Lage. Staubbeutel entleert, Staubgefäße herabgeschlagen, Griffel vorgestreckt mit offenen Narbenlappen. Sporn im Leben feuerrot. Kelchblätter grün, die schmalen Kronenblätter dunkelrot (in Fig. 1 schwarz). Fig. 2 zeigt den Nektarreichtum. Blüte ohne Sitzfläche. Natürliche Größe.

(Kolibris, Honigvögel, Kleidervögel, Honigfresser, Pinselzungenpapageien, Brillenvögel, Zuckervögel u. a.). Diesem von den Blumeninsekten so abweichenden Bestäubertypus erscheinen sie durch bestimmte Blütenmerkmale angepaßt, durch die sie sich dem Kenner in der Regel sofort als Vogelblumen dokumentieren. Es sind dies die folgenden:

1. Leuchtende Farben, wie sie besonders im Schmuckkleide vieler Vögel auftreten, wie Feuerrot, Gelb, Reinblau, Grün, aber auch Braun u. a. Farben; 2. Auffallender Nektarreichtum (Fig. 2); 3. Duftlosigkeit; 4. Meist Mangel oder Rückbildung einer Sitzfläche im Bereiche der Einzelblüte (Fig. 1—3, 13); 5. Entsprechende Festigung der während des Bestäubungsaktes durch den Vogel mechanisch besonders beanspruchten Organe. Diese Charaktereigenschaften der typischen Vogelblumen finden ihre Parallele im Farbensinn des Blumenvogels, der im Gegensatz zu dessen gering entwickeltem bis vollständig rückgebildetem Geruchsinn hohe Entwicklung zeigt, im gesteigerten Flüssigkeits- und Zuckerbedürfnis desselben sowie im größeren Körpergewichte des mit kräftigem Schnabel in die Blüte eindringenden Vogels.

Dieser in Europa fehlende Blumentypus war Gegenstand einer Reihe mehr oder weniger eingehender Untersuchungen, deren Hauptergebnisse zuletzt von E. Werth im Jahre 1915 in einem

Fig. 3. Blütenstand von *Vriesea carinata*, einer brasilianischen Kolibriblume. Hochblätter im Leben feuerrot, Blüten dottergelb, an der Spitze reingrün; die linke und rechte untere Blüte abgeblüht. Blüte ohne Sitzfläche. Ungefähr um $^1/_3$ verkleinert.

originellen Sammelreferate zusammengefaßt wurden.

Welche Kritik ist nun an dem gegenwärtig der Gesamtfrage gegenüber eingenommenen Standpunkte, wie er sich aus der sehr verschiedenwertigen Literatur ergibt, zu üben, und was ergibt sich aus ihr für die Zukunftsforschung?

I. Die Zahl der Vogelblumen ist gegenwärtig weit unterschätzt.

Da die Erkenntnis der Gründe dieser Tatsache gleichzeitig methodische Fingerzeige liefert, seien sie kurz erwähnt.

Es sind dies:

1. Die Tatsache, daß an der Erforschung der Vogelblumen vorwiegend *europäische Forscher* grundlegend beteiligt waren. Da es in Europa keine Vogelblumen gibt, traten sie naturgemäß mit dem ihren heimischen Blütenverhältnissen entsprechenden Gesichtswinkel an die Beobachtung der tropischen und subtropischen Blumenwelt heran.

[1]) O. Porsch, Vogelblumenstudien 1. Jahrb. f. wissenschaftl. Botanik 1924.

Man brauchte und braucht vielfach auch heute noch Höhepunkte der Anpassung im Blütenbau, um an die Gesetzmäßigkeit der Beziehungen zwischen Blume und Vogel zu glauben. Dies führte naturgemäß zu einer Überschätzung bzw. voreiligen Verallgemeinerung der Blütenmerkmale der zuerst beobachteten Vogelblumen. Umgekehrt wurden dieselben heuristisch direkt als Wegweiser für die Beurteilung von Blütenanpassungen verwertet, wie besondere z. B. feuerrote Farbe, Blütengröße.

2. *Die Schwierigkeit der Beobachtung* infolge der Scheuheit des Vogels und der meist großen Entfernung vom Erdboden, in der sich die entscheidenden Vorgänge abspielen.

3. *Die unrichtige Wahl der Beobachtungszeit.* Für die meisten Vogelblumen sind die frühesten Morgenstunden die günstigste Beobachtungszeit, ja für Beobachtung des Höhepunktes gewisser Lebenserscheinungen die einzig günstige Beobachtungszeit. (Honigausscheidung, Funktion der Capillareinrichtungen.) Dem Spätbeobachter bleibt daher häufig nicht nur die Beobachtung des Bestäubungsvorganges, sondern auch der Einblick in wichtige Lebensäußerungen versagt.

4. *Die Verwüstung der Natur durch den Menschen,* welche vielen Blumenvögeln ihre Daseinsmöglichkeit einschränkt, sowie die Verfolgung derselben, welche manche Arten bereits zum Aussterben gebracht hat (*Nestor*-Arten, Kleidervögel).

Daraus ergeben sich folgende methodische *Forderungen* für die Zukunftsforschung:

1. Beobachtung aller von Insekten, für die Bestäubung nicht ausschlaggebend oder gar nicht besuchter Pflanzen, deren Blütenbau und Honigmenge bei normalem Honigbezug durch Vögel Bestäubung gewährleistet, auf Vogelbesuch bzw. die spezielle Art der Tätigkeit der Vögel hin.

2. Beobachtung der Blütenbesucher in den frühesten Morgenstunden.

3. Kritisch-statistische Feststellung sämtlicher Farben des wirksamen Schauapparates von Vogelblumen unter gleichmäßiger Berücksichtigung aller, also auch der *nicht* grellroten, Farbentöne wie vor allem Reinblau, Grün, Tabakbraun. Diese Forderung ist deshalb besonders wichtig, weil die bei alt- und neuweltlichen Vogelblumen verbreitete Grellrotfärbung als Charakterfarbe der Vogelblumen meist über Gebühr in den Vordergrund gestellt wird.

4. Vergleichende Untersuchung ausgesprochen vogel- und insektenblütiger Vertreter derselben Gattung bzw. verschiedener Gattungen derselben Familie sowie der Übergangstypen. Als für diesen Zweck besonders dankbare Gattungen wären zu empfehlen: *Aquilegia, Delphinium, Tropaeolum, Inga, Impatiens, Passiflora, Vaccinium, Salvia, Nicotiana, Pentstemon, Lonicera, Lobelia, Gladiolus.* Die Unterschiede zwischen den beiden Extremen führen zur Erkenntnis der ausschlaggebenden Charaktermerkmale beider, die Übergangstypen zeigen den Weg der Umbildung zur Vogelblume.

Von Ergebnissen eigener Untersuchung auf Grund der Anwendung dieser methodischen Forderungen seien erwähnt.

1. Eine Durcharbeitung der Angiospermenflora Javas ergab mir, daß von 170 Familien daselbst heimischer Blütenpflanzen nicht weniger als 28, d. s. 16,4% und zwar in 50 Gattungen vogelblütige Vertreter besitzen. Eine gleichsinnige Durcharbeitung der in WARBURGS Pflanzenreich besprochenen 281 Familien bedecktsamiger Blütenpflanzen ergab 64 Familien, also 22,7%, mit vogelblütigen Vertretern.

2. Eine statistische Durcharbeitung der auf die Bestäubung durch die endemischen Kleidervögel direkt angewiesenen, also ausgesprochenen vogelblütigen hawaischen Lobelioiden nach der Monographie ROCK ergab mir folgende Prozente der Blütenfarben bei 95 Arten:

Tabelle I.

Verteilung der Blütenfarbe bei den auf die Bestäubung durch die Kleidervögel (*Drepanididae*) angewiesenen hawaischen Lobelioideae in Artprozenten (95 Arten).

weiß	31,6%	lila	5,2%
rosa-purpurn	22,1%	grün	4,2%
dunkel-purpurn	17,9%	gelb	3,2%
blau	12,6%	*feuerrot*	3,2%

Vergleichsweise erwähne ich, daß A. BERGER für die 274 ausschließlich vogelblütige Arten umfassende Gattung *Agave* als Hauptfarben angibt: „grünlich, weißlich, gelblich, bräunlich bis schwarzbraun, gelb bis orangefarben". Diese Tatsachen mahnen zur Vorsicht bei Verallgemeinerungen über bestimmte Farbentöne als Charakterfarben der Vogelblumen. Als solche verdienen neben Feuerrot und den Papageienfarben Elektrischblau, Grün, und Reinbraun an erster Stelle genannt zu werden.

3. Erst durch Frühbeobachtung konnte ich nicht nur neue Fälle von Vogelbestäubung nachweisen, sondern kam dadurch auch zur Erstentdeckung besonderer Capillareinrichtungen im Dienste der Weiterleitung der Nektars, deren weite Verbreitung bei Vogelblumen ich später feststellte (Fig. 4—8).

4. Die Frühbeobachtung führte mich auch zur Erkenntnis der bisher für fledermausblütig gehaltenen Blütenstandsblume von *Freycinetia* als eines neuen Typus einer Vogelblume, die dem Vogel außerhalb des Bereiches der Einzelblüten in Form zuckerreicher fleischiger Hochblätter feste Lockspeise darbietet.

5. Durch Frühbeobachtung konnte ich auch neue Fälle von Honigdiebstahl durch Honigvögel feststellen, so an *Sanchezia, Hamelia* u. a (Fig. 9).

II. Auch die Zahl der Blumenvögel sowie der Anteil der Vogelwelt an der Blumenbestäubung ist gegenwärtig weit unterschätzt.

1. *Haupt*grund hierfür ist auch hier die Tatsache, daß die grundlegenden Beobachtungen vorwiegend von europäischen Forschern gemacht wurden. Da es in Europa keine Blumenvögel gibt, brauchte man und braucht vielfach auch heute noch auch

beim Vogel Höhepunkte der Anpassung wie Kolibris, Honigvögel, um an die gegenseitigen Bewirkungen zu glauben. Wie bei den Vogelblumen übersah man daher auch bei den Blumenvögeln die Fälle beginnender Anpassung.

2. Eine weitere Fehlerquelle war der verhängnisvolle Irrtum, daß der Blumenvogel die Blume vorwiegend oder ausschließlich der Insekten wegen besuche. Am endgültigen gegenteiligen Nachweis, daß sein Besuch nur dem Honig gilt, sind neben Zoologen (STOLZMANN, GOSSE, LUCAS) interessanter-

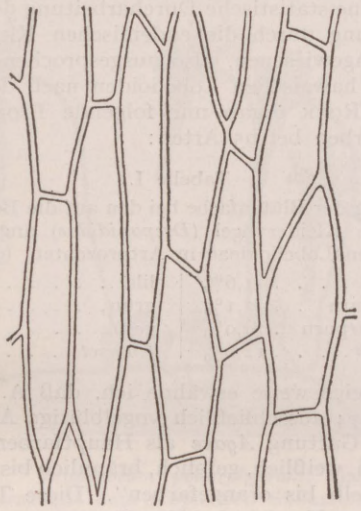


Fig. 4—5. *Tropaelum pentaphyllum.*

Fig. 4. *Äußere* Oberhaut des handschuhfingerförmigen Endteiles des Blütenspornes (vgl. Fig. 1—2) in Flächenansicht.

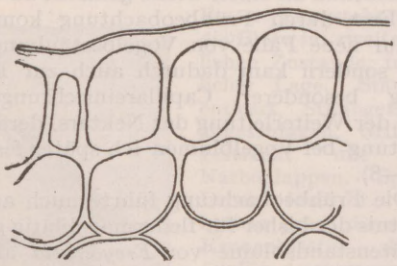


Fig. 5. Dieselbe im Querschnitt. Die Oberhaut zeigt *keine* Capillareinrichtung. Stark vergrößert.

weise in entscheidendem Maße vor allem Botaniker beteiligt, so besonders WERTH, VOLKENS, FRIES, MARLOTH, TRELEASE, ULE u. a. Diese für die ausgesprochenen Blumenvögel allgemein gültige Regel ist selbst heute noch nicht Gemeingut der Vogelforscher geworden, die noch immer zu wenig berücksichtigen, daß der reiche Honigbezug auch einen wesentlichen Nahrungszuschuß bedeutet und geradezu physiologische Voraussetzung für die Muskelhöchstleistungen des Fluges der hochangepaßten Blumenvögel ist. Ihren Stickstoffbedarf decken sich die Blumenvögel selbstverständlich durch tierische Nahrung und zwar meist außerhalb der Blüte.

3. Für die Beurteilung des Anteiles der Vogelwelt am Blumenbesuch von besonderer Wichtigkeit ist auch die Frage: Was führt den nicht angepaßten Vogel zur Blume? Es war der Drang nach Befriedigung seines Flüssigkeitsbedürfnisses. Zu diesem Zwecke stehen dem Baumvogel außer Tau- und Regentropfen im wesentlichen bloß Wasseransammlungen im Bereiche der Blütenstände (Hochblätter), der Blatttrichter (Bromeliaceen) und in den Tropen überdies die aktive Wasserausscheidung aus den Wasserdrüsen (Hydathoden) zur Verfügung, die durch den

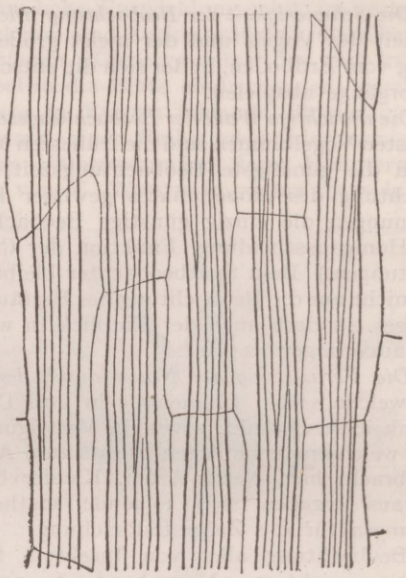


Fig. 6.

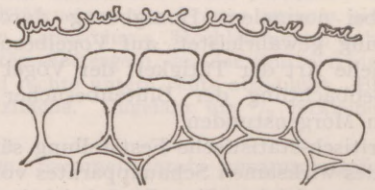


Fig. 6—7. *Tropaeolum pentaphyllum.*

Innere Oberhaut desselben Spornteiles in Flächenansicht (Fig. 6) und im Querschnitte (Fig. 7) mit Capillareinrichtung. Diese besteht in feiner Längsfältelung des hochgradig benetzbaren Korkhäutchens, welche ohne Rücksicht auf die Zellgrenzen einheitlich über die Oberhaut hinwegzieht.

hohen Blutungsdruck der Bäume begünstigt wird. Welch hohe Werte dieser in den Tropen erreichen kann, haben die Untersuchungen von FIGDOR, MOLISCH und besonders VON FABER erwiesen.

4. Schließlich dürfen wir vor allem nicht vergessen, daß dem intellektuell viel höherstehenden Blumenvogel in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft aus folgenden Gründen *relativ* mehr Zeit zur Verfügung stand und steht, die Blumenwelt seines Gebietes zu beeinflussen als den Insekten:

a) Weil er das ganze Jahr hindurch Blüten vorfindet;

b) Im Gegensatz zum Insekt, welches nur im Zustand des entwickelten Tieres, der Imagoform auf Honig oder Pollen ausgeht, ist schon der junge Blumenvogel Blütenbesucher;

c) Während gerade bei den als Bestäuber höchstwertigen und höchstangepaßten Bienen die kurzlebigen, bloß der Fortpflanzung dienenden Männchen nur eine untergeordnete Rolle in der Bestäubungsarbeit spielen, fällt der Anteil der langlebigen Vogelmännchen an der Bestäubung ganz entscheidend mit ins Gewicht.

d) Auch sind zahlreiche Blumenvögel, wie die meisten Kolibris, nicht nur viel früher morgens

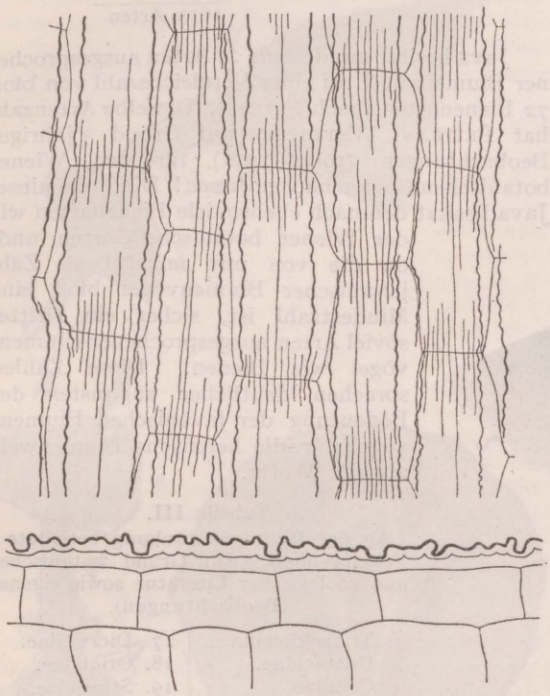


Fig. 8. Capillareinrichtung der inneren Oberhaut der Blütenhülle von *Vriesea carinata* (vgl. Fig. 3). Die Capillareinrichtung zeigt auffallende Übereinstimmung mit jener in Fig. 6—7.

tätig als die meisten Blumeninsekten, sondern gehen überdies auch später noch auf Nektar aus.

e) Schließlich erreichen beide Geschlechter der Blumenvögel ein unverhältnismäßig höheres Alter als die langlebigsten Blumeninsekten.

Aus diesen Erwägungen heraus ergeben sich folgende methodische Zukunftsforderungen:

1. Genaue Beobachtung der speziellen Art der Tätigkeit der Vögel an den Blüten (Trinken, Honigdiebstahl);

2. Ausdehnung der Beobachtungen auf nicht an Blumenbesuch angepaßte Baumvögel.

3. Vornahme individualstatistischer Beobachtungen[1]) über den Blumenbesuch ausgesprochener Vogelblumen während der Hauptbesuchszeit.

[1]) Das heißt Feststellung *jedes Einzelbesuches.*

4. Vergleichende Beobachtungen über die Bestäubungsleistung verschiedener Blumenvögel in der Zeiteinheit.

5. Feststellung der Hauptflugzeit der einzelnen Blumenvögel an den Blumen;

6. Feststellung jener Blüten, welche trotz lebhafter Farben bzw. bedeutender Größe von Blumenvögeln *nicht* besucht werden.

7. Anstellung von Versuchen über den Farbensinn der Blumenvögel, welche sicher ein weiter entwickeltes Farbenunterscheidungsvermögen derselben ergeben werden, als aus den Versuchen von HESS hervorgeht.

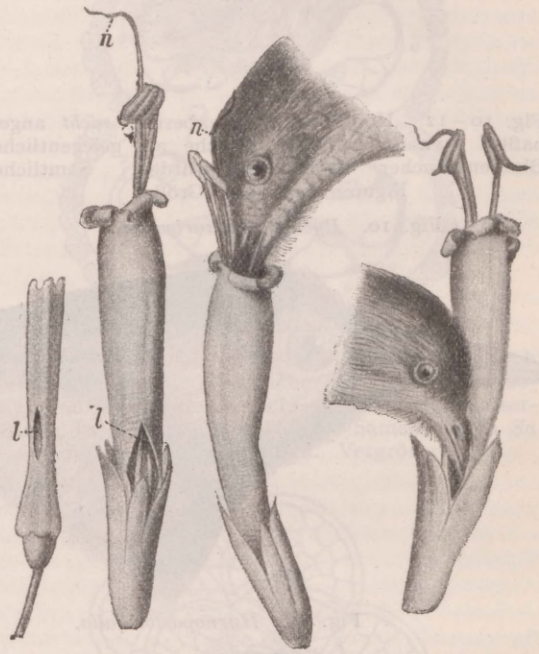


Fig. 9. Erste Blüte. *Hamelia lutea* mit Bohrloch (*l*). Die übrigen Blüten von *Sanchezia nobilis*. *l* Bohrloch, *n* Narbe. Rechts Honigeinbruch durch *Anthothreptes malaccensis*, links daneben normale Honigausbeutung durch den langschnäbeligen Spinnenjäger (*Arachnothera longirostris*). Blüte von *Hamelia* vergrößert 1,5:1, alle übrigen in natürlicher Größe.

Die Versuche von HESS gestatten absolut keine Verallgemeinerung, da sie sich auf wenig Versuchsvögel erstrecken, welche in ihrem Gesamtkörperbau und sonstigen Lebenserscheinungen von den an die Nektargewinnung hochangepaßten Blumenvögeln bedeutend abweichen (Hühner, Tauben, Turmfalken, junger Bussard).

Von Ergebnissen eigener Untersuchungen seien erwähnt:

1. Eigene Beobachtungen der Tätigkeit der Blumenvögel in der Natur (Java, Britisch-Indien), sowie an gefangenen Blumenvögeln (Brillenvogel, Goldblattstirnvogel), welche jeden Zweifel an der alleinigen Tätigkeit des Honigtrinkens an vollkommen insektenfreien Vogelblumen ausschließen.

2. Die früher erwähnten neuen Fälle von Honigdiebstahl an Vogelblumen durch Honigvögel (Fig. 9).

3. Der Nachweis des Blumenbesuches nicht angepaßter und die Blüten manchmal sogar schädigender Vögel (*Pycnonotus aurigaster* an *Freycinetia* und *Spathodea*, *Sturnopastor jalla* an *Spathodea*, *Buchanga longa* an *Erythrina lithosperma* auch schädigend) (Fig. 10—12).

Fig. 10. *Pycnonotus aurigaster.*

Fig. 11. *Hurnopastor jalla.*

Fig. 12. *Buchanga longa.*

Fig. 10—12. Köpfe an Blumenbesuch *nicht* angepaßter javanischer Vögel, welche als gelegentliche Blumenbesucher beobachtet wurden. Sämtliche Figuren natürliche Größe.

4. Konnte ich an der Hand zoologischer Literatur und eigener Beobachtungen den Nachweis erbringen, daß nicht weniger als 31 tropische und subtropische Vogelfamilien an der Blumenbestäubung beteiligt sind, darunter mindestens 1615 Arten hochangepaßter Blumenvögel (s. Tab. II u. III).

Tabelle II.

Artenzahl der Familien körperlich unzweideutig angepaßter Blumenvögel (nach REICHENOW).

Trichoglossidae	100	Arten
Trochilidae	600	„
Coerebidae	100	„
Meliphagidae	280	„
Nectarinidae	250	„
Drepanididae, Dicaeidae	125	„
Zosteropidae	160	„
	1615	Arten

Java besitzt mindestens 22 Arten ausgesprochener Blumenvögel bei einer Vergleichszahl von bloß 72 Bienenarten (nach FRIESE). Dieselbe Artenzahl hat FRITZ v. WETTSTEIN auf Grund 3 jähriger Beobachtungen (1909—1911) für den Wiener botanischen Garten nachgewiesen! Die Tropeninsel Java besitzt demnach ebensoviele Bienenarten wie der Wiener botanische Garten und, da die von mir angegebene Zahl javanischer Blumenvögel bloß eine Mindestzahl ist, sicher ein Drittel soviel Arten ausgesprochener Blumenvögel wie Bienen. Diese Zahlen sprechen deutlicher zugunsten der Bedeutung der javanischen Blumenvögel für die heimische Blumenwelt als alle Worte.

Tabelle III.

An der Blumenbestäubung beteiligte Vogelfamilien. (Auf Grund botanischer und zoologischer Literatur sowie eigener Beobachtungen).

1. Trichoglossidae.	17 Dicruridae.
2. Psittacidae.	18. Oriolidae.
3. Coliidae.	19. Sturnidae.
4. Momotidae.	20. Artamidae.
5. Meropidae.	21. Icteridae.
6. Trochilidae.	22. Coerebidae.
7. Picidae.	23. Fringillidae.
8. Tyrannidae.	24. Ploceidae.
9. Formicariidae.	25. Meliphagidae.
10. Muscicapidae.	26. Nectarinidae.
11. Turdidae	27. Drepanididae.
12. Brachypodidae.	28. Sylviidae.
13. Campephagidae.	29. Zosteripidae.
14. Vireonidae.	30. Dicaeidae.
15. Laniidae.	31. Paridae.
16. Paradiseidae.	

5. Lernte ich in *Holmskjoldia* eine Vogelblume kennen, welche in der Blüte denselben Drüsentypus zur Nektarausscheidung wie auf den Laubblättern zur Wasserausscheidung verwendet (Fig. 13—15).

III.

Der Unterschied zwischen den Typen Tagschwärmer- und Kolibriblume, welche beide von an

der Blüte freischwebenden Tagbesuchern bestäubt werden, ist klarzustellen und die Verbreitung der Ersteren zu ermitteln. Die Kolibris haben sicher viele Tagschwärmerblumen in Besitz genommen und in Vogelblumen umgewandelt, was wohl auch in der Gegenwart noch geschieht. Als Unterschiede der Tagschwärmerblume gegenüber der Kolibriblume wären zu erwarten: 1. Bevorzugung der Blau- und Gelbgruppe im wirksamen Schauapparat; 2. dickflüssiger Honig; 3. schwächere Ausbildung besonderer Befestigungseinrichtungen; 4. Verengerung des Zuganges zum Honig. Der Duft kann vorhanden sein, aber auch fehlen.

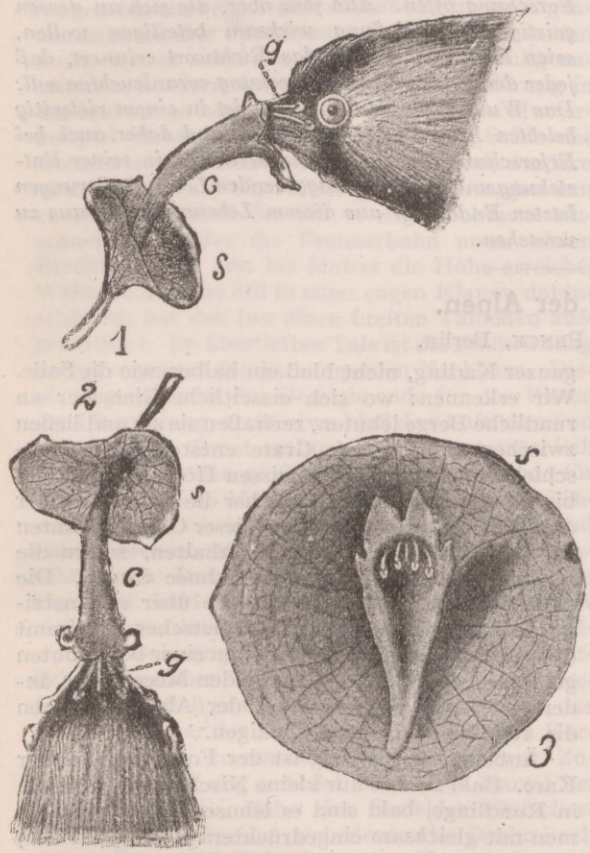


Fig. 13. *Holmskjoldia sanguinea;* eine asiatische Vogelblume. 1. Bestäubung der Blüte durch den Honigvogel *Cinnyris pectoralis*. 2. Ansicht von oben. 3. Blüte von vorne. Blumenkrone *c* und Kelch *s* im Leben feuerrot. Blüte ohne Sitzfläche, *g* Griffel. Fig. 1—2 vergrößert 3 : 2, Fig. 3 vergrößert 3 : 1.

IV.

Die Vogelblumenforschung bedarf ebenso wie die Erforschung der Insektenblumen einer Vertiefung nach folgenden Richtungen.

1. In physiologisch-anatomischer Beziehung;
2. In experimenteller Beziehung;
3. In geographischer Beziehung;
4. In geschichtlicher Beziehung.

Welcher Vertiefung diese beispielsweise in *experimenteller* Beziehung fähig ist, haben die Untersuchungsergebnisse meiner beiden verehrten Vorredner bewiesen:

In *physiologisch-anatomischer* Beziehung hebe ich aus der spärlich vorliegenden Literatur als vorbildliche Untersuchungen vor allem die Arbeiten von A. WAGNER über die Anatomie der Strelitzia-Blüte sowie jener von VOLKENS über Proteaceen- und Loranthaceen-Blüten hervor.

Fig. 14. *Holmskjoldia sanguinea,* Querschnitt durch den Fruchtknoten. Oberfläche desselben dicht bedeckt von den Nektar ausscheidenden Zuckerwasserdrüsen. Im Inneren derselben die Samenanlagen *Sa* mit ebensolchen Drüsen. Vergrößert.

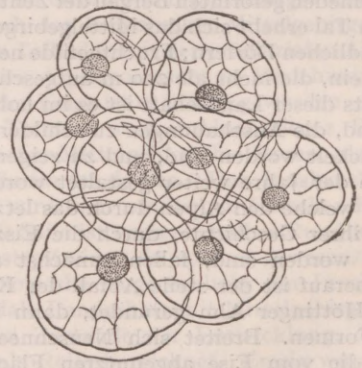


Fig. 15. *Holmskjoldia sanguinea.* Die Fruchtknotendrüsen von Fig. 14 von oben gesehen noch stärker vergrößert.

Von eigenen, zu weiteren Untersuchungen anregenden Beobachtungen erwähne ich folgende:

1. Den bereits erwähnten Nachweis funktionell gleichsinniger, aber mit verschiedenen Mitteln ausgeführter Capillareinrichtungen zum Leiten und Festhalten des Nektars bei Vogelblumen verwandschaftlich weit entfernter Formenkreise und nicht selten trotz großem verwandtschaftlichen Abstande geradezu verblüffender Übereinstimmung der technischen Lösung wie z. B. *Tropaeolum, Vriesea* und *Manettia* (Fig. 6—8).

2. Untersuchungen über die technische Variation in der Herstellung der Festigkeit im Bereiche der Blüte (mechanische Gewebe, Turgor, Drehung von Organen usw.).

In *stammesgeschichtlicher* Beziehung erwähne ich:

3. Die Ableitung gewisser Capillareinrichtungen von umgebildeten reduzierten Haaren (*Holmskjoldia, Trichosporum*);

4. Die Verwertung von Wasserdrüsen (Trichomhydathoden) als Nektardrüsen bei *Holmskjoldia sanguinea* Retz.

Die Blüte dieser Art ist auch dadurch von besonderem stammesgeschichtlichen Interesse, weil sie klar zeigt, welche Umbildungen genügen, um aus einer typisch bienenblütigen Lippenblüte eine ausgesprochene Vogelblume zu machen. Es sind dies reichere Ausscheidung dünnerflüssigen Nektars, Festigung der Krone, Farbenumstimmung und Rückbildung der Unterlippe als Sitzfläche.

5. Die erwähnte Beteiligung an Nektargewinnung nicht angepaßter Baumvögel am Blumenbesuch bzw. deren gelegentliche Blumenschädigungen (Fig. 10—12).

Ich bin damit am Schlusse meiner notgedrungen etwas aphoristisch geratenen Ausführungen angelangt und fasse kurz dahin zusammen:

Die Vogelblumenforschung steht auch heute erst am Anfang der richtigen Einschätzung des Machtfaktors der Vogelwelt als Mitbeherrscher der tropischen und subtropischen Blumenwelt. Unter der heißeren Tropensonne führte der Drang nach Befriedigung seines Flüssigkeitsbedürfnisses den Vogel zur Blume die er sich ausgiebig unterjochte und damit vielfach der Insektenwelt entriß. Ein riesiges noch wenig bebautes Arbeitsgebiet steht hier in gerade zu verführerischer Unberührtheit noch für künftige Forschung offen. Alle jene aber, die sich an dessen geistiger Erschließung wirksam beteiligen wollen, seien nachdrücklich an das Richtwort erinnert, daß jeder denkenden Blumenforschung voranleuchten soll: Das Wundergebilde der Blume ist in einem vielseitig belebten Lebensraum entstanden und daher auch bei Erforschung mit modernster Methodik in seiner Entstehung und den ausschlaggebenden Lebensäußerungen letzten Endes nur aus diesem Lebensraum heraus zu verstehen.

Das Antlitz der Alpen.

Von ALBRECHT PENCK, Berlin.

Keine Stelle hat wohl mehr die Entwicklung unserer Ansichten über das Antlitz der Alpen beeinflußt als Innsbruck. Hoch streben im Norden der Stadt die Mauern der Kalkalpen auf, im Süden öffnet sich die weite Furche des Brenners, begleitet von verschieden geformten Bergen der Zentralalpen; über dem Tal erhebt sich das Mittelgebirge, besetzt mit freundlichen Dörfern; Fruchtgefilde nehmen die Talsohle ein, die mehr als 200 m aufgeschüttet ist. Angesichts dieser Landschaft ist es im hohen Maße verlockend, die Anschauungen zu schildern, die an ihr entwickelt worden sind, und zu zeigen, wie sie im Laufe der Jahre weiter gestaltet worden sind.

Züge, welche den Alpen durch das letzte große Ereignis ihrer Geschichte, durch die Eiszeit, aufgedrückt worden sind, fallen zunächst auf. Bis 2000 m herauf ist der steile Abfall der Kalkalpen auf der Höttinger Alm gerundet, dann beginnen andere Formen. Breitet sich Neuschnee aus, so hüllt er die vom Eise abgenutzten Flächen ein; als breites weißes Band treten sie entgegen. Darüber zittern Schnee in Runsen und kleine Felsgrate dazwischen. Deutlich wird die *Schliffgrenze* sichtbar, bis zu welcher der eiszeitliche Inngletscher reichte. Daneben drängt sich in das Brandjoch das Brandjochkar, eines jener *Kare*, die man als die Betten eiszeitlicher Gletscherwurzeln deuten gelernt hat. Sie fehlen dem niedrigsten Berge in Innsbrucks Umgebung, dem rundlichen Patscherkofel östlich der Brennerfurche, nagen sich aber westlich derselben dermaßen in die höhere Saile, daß diese von Nordosten gesehen scharfgrati erscheint, während sie von Nordwesten als Rundling entgegentritt. Ganz fehlen die Rundformen an der noch höheren Waldrastspitze im Süden. Sie ist ein ganzer Karling, nicht bloß ein halber, wie die Saile. Wir erkennen: wo sich eiszeitliche Gletscher an rundliche Berge lehnten, zerfraßen sie sie und ließen zwischen sich scharfe Grate entstehen. Das geschieht nur von einer gewissen Höhe an, nämlich bis zu derjenigen, bis zu welcher die alten Gletscher die Täler erfüllten; nur über dieser Grenze konnten sie von den Seiten Zuflüsse erhalten, sofern die Kämme des Gebirges ewigen Schnee trugen. Die eiszeitliche Schneegrenze und die über sie ansteigende Oberfläche der alten Gletscher bestimmt die untere Grenze der Kare. Von einer bestimmten gebirgseinwärts größer werdenden Meereshöhe ändert sich der Formenschatz der Alpen, weichen die rundlichen Formen zackigen.

Äußerst vielgestaltig ist der Formenschatz der Kare. Bald sind es nur kleine Nischen, eingefressen in Rundlinge, bald sind es lehnsesselähnliche Formen mit gleichsam eingedrücktem Boden, auf dem sich über undurchlässigem Gestein ein See breitet, bald ist der Boden abschüssig. Verzweifelnd steht der beschreibende Systematiker vor solcher Mannigfaltigkeit der Formen, die der Morphologe klar erfaßt, indem er das Kar als ein von Felsen überragtes Bett eines alten Hängegletschers betrachtet, der entweder selbständig endete, oder einen Talgletscher speiste. Zur Entwicklung konnten solche Hängegletscher nur an Konkavitäten der Berghänge kommen, welchen Ursprungs dieselben auch sein mögen. Und wenn einmal eine solche Konkavität eine andere Erstreckung hat, als die obere Gletschergrenze, da kann örtlich sich die Flucht der Kare einmal etwas anders senken, als letztere. Ist kein Platz auf dem von ihnen bevorzugten Nordabfalle einer Gebirgskette, wie auf den Nordwänden

der hinteren Karwendelkette, dann fehlen hier die Kare, und beschränken sich auf die meist von ihnen gemiedene Südseite. Gleichgültig ist der Ursprung der Konkavität für die Entwicklung des Hängegletschers, ob sie sich an Gesteinsgrenzen knüpft, oder den Fuß einer alten Landstufe, ob sie bloß Gehängeform ist, oder ob sie bereits zu den obersten Talformen gehört. Viele Kare sind nichts anderes als glazial umgeformte Talanfänge, wie z. B. das Soiernkar, und keine scharfe Grenze ist zwischen langgedehnten Karen und dem Troge, der bezeichnenden Form glazial umgestalteter Täler, zu ziehen.

Alle Alpentäler, die eiszeitliche Gletscher geborgen haben, zeigen eine charakteristische Eigentümlichkeit: *Die Übertiefung*. D. h. die Täler laufen nicht, wie es sonst die Regel ist, gleichsohlig zusammen, sondern das eine mündet stufenförmig in das andere; es hängt über demselben. Ein Musterbeispiel bietet wieder Innsbruck. Die Sohle des Brennertales mündet nicht in das Inntal, sondern oben bei Igls auf dem Mittelgebirge. Um den Inn zu erreichen, muß die Sill in enger Schlucht einschneiden, in der die Brennerbahn unter vielen Erschwernissen erst bei Matrei die Höhe erreicht. Während also die Sill in einer engen Klamm dahinschäumt, hat der Inn einen breiten Talboden aufgeschüttet. Im übertieften Tale ist die Flußwirkung entgegengesetzt der im hängenden Nachbarn. Dieser Gegensatz ist das Bezeichnende für das Wesen der Übertiefung, nicht etwa bloß das Auftreten von Hängetälern. Sonst müßte man, wie es tatsächlich geschehen ist, den großen Kanjon des Colorado für übertieft halten. Man kann sich kaum einen größeren Gegensatz zwischen dessen enger Schlucht und einem breiten übertieften Alpentale mit aufgeschüttetem Boden denken. Daß nun bald das Haupttal, bald das Nebental übertieft ist, erklärt sich daraus, daß die heutige hydrographische Ordnung im Gebirge nicht mit der Ordnung der eiszeitlichen Gletscher übereinstimmt. Über den Seefelder Paß floß ein mächtiger Gletscherast in das Isartal. Er war der Hauptstrom, der aus dem Karwendelgebirge kommende Isargletscher war Zufluß. Stufenförmig mündet daher das Isartal bei Scharnitz in die Bahn des Seefelder Gletscherastes, der heute der unbedeutende Drahmbach folgt: Übertieft ist immer die Hauptbahn des Gletschers; es hängt über ihr die Bahn des Zuflusses, mag dieselbe, wie meist, Nebental, oder, wie manchmal, Haupttal sein. Und weiter, wenn ein aus einem engen Nebental kommender Gletscher mit steilem Gefälle in ein breites Haupttal mit langsam sich senkender Gletscheroberfläche hineinstieß, so trieb er seine Übertiefung in den Boden von jenem hinein. Auch dafür ein Beispiel aus der Gegend von Innsbruck: Die Übertiefungsfurche des Stubaitales mündet im Mittelgebirge, das sich an der Brennerfurche südwärts erstreckt, stumpf beckenförmig. Ebenso münden die großen übertieften Betten der großen eiszeitlichen Gletscher im Vorlande der Alpen in großen *Zungenbecken*. Diese bergen die großen Alpenseen, welche insgesamt im Bereiche der eiszeitlichen Vergletscherung gelegen, die erste Veranlassung gaben, an deren starke Erosionswirkung zu denken.

Am großartigsten ist die Übertiefung in den *Trogtälern* entfaltet. So nannte EDUARD RICHTER die schmalen und tiefen Täler mit U-förmigem Querschnitt, die namentlich in den Hohen Tauern und in den Zillertaler Alpen vorkommen. Ihre steilen Wände grenzen in der Trogschulter gegen höheres, flaches Gelände ab, auf dem die Kare münden, stumpf enden sie gegen solches am Trogschluß; alle Seitentäler münden auf hohen Stufen. Man denke nur an die Gründe des Zillertales. Es handelt sich um eigenartige Formen, wie sie nur in vergletschert gewesenen Gebieten vorkommen; Seitenstücke zu ihnen sind die Sacktäler Norwegens. Aber nicht alle Täler der Alpen sind Tröge; schon das Zillertal ist unterhalb Mayerhofen kein solches, und die bei Innsbruck zusammenlaufenden Täler sind es auch nicht. Es ist offenbar, daß die eiszeitlichen Gletscher ihre Bahnen in sehr verschiedener Weise ausgebildet haben. Darüber erhält man am leichtesten Klarheit, wenn man sich Vorstellungen über den voreiszeitlichen Zustand der Alpen zu machen versucht.

Die Gegend von Innsbruck bot hierfür verschiedene Anhaltspunkte. Das Mittelgebirge ist offensichtlich ein alter Talboden. Nun liegen die ältesten Ablagerungen des Eiszeitalters im Alpenvorlande auf einer Abtragungsfläche; eine solche muß sich gebirgseinwärts in Form breiter Talböden fortgesetzt haben. Auf dem Wege einer Korrelation der Formen im Gebirge und im Gebirgsvorlande wurde der durch das Innsbrucker Mittelgebirge angedeutete alte Talboden mit der präglazialen Abtragungsfläche des Alpenvorlandes in Beziehung gebracht, und in der Folge ist es üblich geworden, die unteren breiten Terassen unserer Alpentäler, z. B. auch das Überetscher Mittelgebirge bei Bozen, als *präglazialen Talboden* zu deuten. Das Innsbrucker Mittelgebirge wird vom rundlichen Patscher Kofel überragt; die Saile ist noch ein halber Rundling, und die Waldrastspitze ist ein solcher gewesen. Kurz das morphologische Auge erblickt um Innsbruck eine vorglaziale Landschaft mit Mittelgebirgscharakter, in jenem Zustande der Entwicklung, den W. M. DAVIS als Reife bezeichnet. Emsig wurden in den gesamten Alpen nach Spuren eines früheren Mittelgebirges gesucht; mehrfach wurden solche gefunden, und der Schluß drängte sich auf, daß die Alpen ein glazial umgeformtes Mittelgebirge seien, dessen rundliche Gipfel von Karen angefressen und dessen bald engere, bald breitere Täler durch die schürfenden Gletscher übertieft seien. Aber die als präglazial erkannten Talböden führten zugleich zu einer weiteren folgenschweren Erkenntnis. Nicht bloß die großen Talseen des Gebirges, auch seine Steilformen, die ihm den Charakter des Hochgebirges aufdrücken, sollten ein Werk der Gletscher sein.

Diese um Innsbruck erwachsene Anschauung läßt sich heute für das ganze Gebirge nicht mehr halten. Es gibt noch andere Ursachen, welche die

Zuschärfung seiner Grate bewirkt haben können. Auf sie führte die folgerichtige Auswertung dessen, was der präglaziale Talboden lehrt. Er liegt allenthalben erheblich höher als die ihm entsprechende Oberfläche des Alpenvorlandes. Man kann ihn mit ihr nicht verbinden, ohne an eine Hebung des Gebirges zu denken. Je weiter meines Freundes BRÜCKNER und meine eigenen Untersuchungen über die Alpen im Eiszeitalter um die Alpen herum geführt wurden, desto zahlreicher wurden die Beweise dafür, daß sich der Alpenkörper während des Eiszeitalters seit der Faltung seiner Schichten gehoben hat. Über dem präglazialen Talboden wurden noch höhere Talböden bekannt, von denen solche auf der Südseite des Gebirges mit marinen Pliozänschichten in Verbindung gebracht werden konnten und damit als pliozän erwiesen wurden. Diese Nachweise belebten die Forschung. Man begann die ältere Talgeschichte der Alpen zu studieren, und gewann aus den Talterrassen nicht bloß Anhaltspunkte für ein hohes bis in das Miozän heraufreichendes Alter mancher Täler, sondern auch für eine seit dem jüngeren Tertiär erfolgende, durch gelegentliche Ruhepausen unterbrochene *Hebung der Alpen*, die sich nicht an die Faltung ihrer Schichten knüpft. War nun die Hebung *epirogenetisch?* Geschah sie im ganzen Alpenkörper gleichmäßig, oder war sie *orogenetisch*, indem sie einzelne Ketten mehr oder weniger betraf? Darüber hat das Studium der Talterrassen, die man allgemein als Überreste alter Talböden deutete, kein befriedigendes Ergebnis geliefert. Ist es schon recht schwierig, den präglazialen Talboden zu verfolgen, so bleibt bei der Verknüpfung hochgelegener Talbodenreste ein so weiter Spielraum, daß auf die Gefällsverhältnisse sehr alter Talstücke kaum noch mit Sicherheit geschlossen werden kann. Es mußte daher behufs Beantwortung der Frage der Blick auf andere Erscheinungen gelenkt werden. Er richtete sich von den Tälern mit ihren Terrassenspuren zu den Höhen.

Stehen wir auf einem höheren Alpengipfel, so sehen wir ringsum die Gipfel wie ein versteinertes Meer auf und ab wogen. Aber wie die Wellen des Meeres sich nicht weit vom mittleren Meeresspiegel entfernen, so haben benachbarte Gipfel stets ungefähr gleiche Höhe. Wir können uns durch ihre Spitzen eine ideale Fläche gelegt denken. Das ist die *Gipfelflur*. Sie kappt das Gebirge mit seinem verwickelten Schichtenbau in einheitlicher Weise. Sie erscheint auf den ersten Blick als eben. Aber in Wirklichkeit wogt sie im Gebirge in ähnlicher Weise auf und ab, wie die Gipfel in ihr. Das zeigt sich besonders deutlich wieder in der Gegend von Innsbruck. Östlich der Brennerfurche schwillt sie in den Zillertaler Alpen auf 3500 m an, westlich davon in den Ötztaler Alpen auf mehr denn 3700 m; nahe der Furche selbst bleibt sie unter 2500 m. Gegen das Inntal hin biegt sie in beiden Alpengruppen gleichfalls unter 2500 m herunter, um sich nördlich desselben im Wetterstein- und Karwendelgebirge wieder darüber zu erheben. Mit diesem Auf und Ab der Gipfelflur verknüpfen sich bestimmte Gipfelformen. Jede Aufwölbung der Gipfelflur zeigt im Herzen der Alpen scharfgratige Formen, jede Einbiegung rundliche. Es wiederholt sich an der Gipfelflur ein ähnlicher Formengegensatz, wie an der eiszeitlichen Schneegrenze und an der alten Gletscheroberfläche: Die Rundformen halten sich in geringerer Höhe, die Schneiden steigen höher an. Anfänglich wurden sie auch als Folgen der Annagung durch Kare angesehen. Aber je tiefer man in das Innere der Alpengruppen mit hoch aufgewölbter Gipfelflur eindringt, desto weniger deutlich werden die Kare. Die Kare der Zillertaler Alpen sind allesamt viel steilbödiger als die niedrigeren Gebirge. Im letzteren sind die Karseen häufig. Im Zillertal wird der eine Schwarzsee gebührend bewundert. In den höchsten Gebirgsteilen fehlen die Kare vielfach. Bezeichnenderweise hat man in der Schweiz nicht einmal einen Namen für sie, so selten sind sie. In den höchsten Gebirgsteilen steigen die Talgehänge allenthalben, nicht bloß über den Karen, sondern auch in den Karscheiden steil an, treffen sich die von Nachbartälern allenthalben in scharfen Schneiden, die im Bereich der Kümmerkare lediglich etwas mehr zugeschärft sind. Hier wird klar, daß die Grate des Hochgebirges nicht bloß der Einnagung der Kare in die Hänge ihren Ursprung verdanken, sondern die Folge des Verschneidens sehr steiler Hänge sind. Solche aber müssen überall dort zur Entwicklung kommen, wo die Tiefe der Täler im Vergleich zu ihrem Abstande voneinander sehr groß wird. Scharfe Grate aber sind äußerst gebrechliche Gebilde. Sie werden rasch zerstört, wenn die Ursache aufhört, die zu ihrer Entstehung geführt hat, nämlich das tiefe Einschneiden der Täler. Ihr Bestehen beweist die Fortdauer rascher Tiefenerosion, die ihrerseits bedingt wird durch die Fortdauer der Hebung. Die Schneiden des Hochgebirges zeigen daher Gebiete andauernder lebhafter Hebung an. An diesem Ergebnisse wird nicht geändert durch die Tatsache, daß das Ansteigen der Gehänge nicht immer ganz gleichmäßig geschieht, sondern da und dort selbst durch Terrassen unterbrochen wird, falls nur allgemein die Talgehänge übersteil sind, d. h. vom Tale bis zum Firste so steil ansteigen, daß jedes gelockerte Gesteinsstück in die Tiefe stürzen muß.

Die Schneiden im Bereiche der aufgewölbten Gipfelflur bezeichnen also Gebiete andauernder Aufwölbung des Gebirges. Die Einbiegungen der Gipfelflur am Längstale des Inn und an der Brennerfurche dürfen wir indes nicht auf frühere Senkungen zurückführen. Daran hindert uns die Tatsache, daß sie im Bereiche des gehobenen präglazialen Talbodens gelegen sind. Sie sind minder gehobene Teile, wo die zwischen den Tälern gelegenen Talstücke von den sich fortbildenden Steilhängen aufgezehrt worden sind. Es bleibt daher unser früheres Ergebnis bestehen: Seit Faltung ihrer Schichten sind die Alpen um Innsbruck in ihrer Gesamtheit gehoben worden, im Bereiche ihrer

höchsten Erhebungen, im Zillertal, Ötztal und in den nördlichen Kalkalpen mehr, im Bereiche ihrer großen Längstäler weniger. *Die Gipfelflur spiegelt die Aufwölbung großer Sättel wieder, die durch gehobene Einmuldungen getrennt werden.* Sie stellen sich dar als ein System von flachen, sich fortbildenden *Großfalten*. Das lehrt die Gegend von Innsbruck.

Gehen wir weiter nach Osten, so zeigt sich folgendes: An die Gipfelflur treten in den nördlichen Kalkalpen *Hochflächen* von plateauförmigem Charakter heran, die man anfänglich wohl als Schichttafeln gedeutet hat, die aber in Wirklichkeit auch Abtragungsformen sind, aber nicht ebene, sondern unebene. Aus dem Dachsteinplateau steigt der Dachstein mit seinen Gefährten empor als eine isolierte Berggruppe, die im Gebirgsbau nicht bedingt ist. Sie ist der Überrest einer höheren Erhebung, die ringsum abgetragen ist, wobei sich große *Fußflächen*, sog. Piemontflächen entwickelten. Nachdem die Abtragung lange Zeit gewirkt hatte, ist eine neuerliche Hebung eingetreten, erst langsamer, so daß die Flüsse im Kalkplateau einsickerten und hier unterirdisch weiterflossen, *Höhlen* ausnagend, die sowohl auf dem Dachsteinplateau wie auch im Tennengebirge erst in unserem Jahrhundert entdeckt wurden. Eine Fortdauer der Hebung brachte auch diese Höhlenflüsse zum Verschwinden; nur die wasserreichen, aus den Zentralalpen kommenden Gerinne vermochten das aufsteigende Land in engen Quertälern zu zersägen. Diese Arbeit hat die Salzach noch nicht vollendet; noch ist sie in den Öfen in raschem Einschneiden begriffen. Bei der Hebung wurden die alten Abtragungsflächen verbogen, gelegentlich verworfen. Aber indem der Kalk das Wasser aufschluckt, ist ihre Oberfläche dessen abtragenden Wirkungen entzogen, und hat sich trotz tiefgreifender Verkarstung und der ihr folgenden Abschleifung durch Plateaugletscher ziemlich intakt als ein Überbleibsel aus alter Zeit, mutmaßlich aus dem Miozän, erhalten.

Nicht bloß durch die jedenfalls sehr alten gehobenen Hochflächen im Bereiche der Kalkalpen erhalten die östlichen Ostalpen ein sehr charakteristisches Gepräge, sondern auch durch Ablagerungen in den großen Längstälern. Jüngeres Tertiär findet sich im Längstale der Enns, in und neben dem der Mürz, in dem der Mur und namentlich im Klagenfurter Becken. Durchweg handelt es sich um kontinentale, also auf dem Lande entstandene Gebilde, deren Schichtflächen, also ehemalige Landoberflächen, die *Böden von versenkten Bolsonen* zwischen den Ketten des Gebirges darstellen. Neben den durch die Hochflächen der Kalkalpen angezeigten Großsätteln haben wir Großmulden; deren Erfüllung mit grobem aus den Zentralalpen stammendem Materiale erweist, daß die letzteren zur Zeit ihrer Entstehung in lebhaftem Aufsteigen begriffen waren. Hier wird zur Gewißheit, was wir bei Innsbruck aus den Formen erschlossen, nämlich, daß die Längstäler Einmuldungen folgen, welche nicht durch den inneren Bau des Gebirges bestimmt, sondern jünger sind. Diese Einmuldungen haben hier wieder nicht die Längstäler gebildet, sondern letztere sind erst später in ihnen eingeschnitten worden, nachdem ihre Schichten stark zerknittert worden sind. Das muß derjenige immer im Auge haben, welcher die Talgeschichte der Alpen bis in das Tertiär hinein verfolgt: Die diesem angehörigen Oberflächenstücke liegen nicht mehr ungestört; wer ostalpine Formenstudien betreibt, darf insbesondere im Bereich der großen Längstäler nicht aus der gleichen Höhe von benachbarten alten Flächenstücken auf gleiches Alter derselben schließen.

Noch weiter im Osten tauchen die Alpen unter den Ablagerungen am Westrande des pannonischen Beckens unter, oder brechen gegen die des Wiener Beckens ab. Hier erwuchs die Vorstellung, daß die Alpen nach ihrer Faltung eingebrochen seien. Aber die Untersuchung der jungtertiären Ablagerungen in der Steiermark ergibt, daß sie am Rande eines sich hebenden Gebirges entstanden sind. Hebung und Senkung liegen hier dicht nebeneinander. Hier kann man die zu den *Abtragungsformen gehörigen korrelaten Ablagerungen*, zu letzteren die korrelaten Formen finden. AIGNER, SÖLCH und WINKLER haben hier mit erfolgreichen Untersuchungen begonnen, welche nicht nur das geologische Alter gewisser alpiner Formgemeinschaften aufhellen, sondern vor allem auch Licht auf den Formenschatz jenes Teiles der Ostalpen breiten, der von der eiszeitlichen Vergletscherung nicht, oder nur sehr wenig betroffen worden ist. Hier zeigte ferner WALTHER PENCK die volle Ähnlichkeit der zum Karste hin sich streckenden Ausläufer der Alpen mit den Großfalten des nordwestlichen Argentinien.

Ihm ist auch die nähere Entwicklung der Entstehung und Bedeutung des *Primärrumpfes* zu danken. Daß eine außerordentlich langsame Erhebung eines Landes, durch die seitliche Erosion der Flüsse wett gemacht werden kann, so daß sich kein gegliedertes Relief entwickelt, hat 1918 bereits SÖLCH gezeigt und von einem also entstandenen Trugrumpf[1]) gesprochen, obwohl dessen Oberflächengestalt keineswegs bloß die eines Rumpfes vortäuscht, sondern nach Form und Entstehung wirklich einen solchen darstellt, nämlich eine beinahe ebene Abtragungsfläche. WALTHER PENCK lehrte nun, daß die gewöhnlichen abtragenden Vorgänge, daß Erosion und Denudation ganz allgemein Rumpfflächen dann bilden, wenn sie mit gleicher Schnelligkeit arbeiten wie die Hebung. Setzt die Hebung also sehr langsam ein, so entsteht an ihrer Stelle eine fast ebene Rumpffläche als erstes Glied einer Entwicklung, die so lange spielt, als die Hebung andauert, und erst nach deren Erlöschen mit der Bildung einer ganz ähnlichen Rumpffläche ab-

[1]) SÖLCH denkt sich den Rumpf stets durch Wegnahme von Gliedern hervorgegangen. Das ist nicht durch den Sprachgebrauch geboten. Ein Schiffsrumpf bleibt ein Rumpf, ob man ihm die Masten erst einsetzt oder sie schon weggenommen hat.

schließt, der Peneplain von W. M. DAVIS, der *Endrumpffläche* von WALTHER PENCK. Zwischen beiden Typen von fast ebenen Abtragungsflächen können die verschiedensten Relieftypen zur Entwicklung kommen, je nach der Intensität der Hebung, ein Mittelrelief bei geringerer, ein Steilrelief bei starker Intensität.

Dem *Mittelrelief* gehören die Hochflächen der nördlichen Kalkalpen an, die wir bereits kennengelernt haben. Es kehrt in den südlichen Kalkalpen, östlich von der Etsch wieder, in den lessinischen Alpen, und reicht in seinen Ausläufern bis in die Dolomiten hinein. KLEBELSBERG und SCHWINNER haben diese vielfach recht unebenen Abtragungsflächen näher gewürdigt. Sie knüpfen sich, wie in den nördlichen Kalkalpen, meist an Kalkmassen, welche den Niederschlag aufsaugen, und damit die abtragende Wirkung des abfließenden Regenwassers hindern. Ihre Zerstörung geschieht dadurch so gut wir gar nicht an ihrer Oberfläche, sondern schreitet von ihren Rändern aus fort, indem das Sockelgestein stärker abgetragen wird als der Kalk, wobei dieser dabei untergraben wird. Steile Felswände umranden daher meist die Kalkhochflächen. Der Schlern ist eine solche. Randliche Untergrabung hat von ihm bereits zwei Türme losgelöst, die bei geringer Höhe echte Steilformen des Hochgebirges zeigen. Am benachbarten Rosengarten ist der Kalk stärker gehoben, die Hochfläche wird hier bereits durch eine scharfe Schneide ersetzt, dadurch entstanden, daß sich die beiden Untergrabungswände oben unter spitzem Winkel treffen. In den Drei Zinnen sind drei Zacken von der früheren massigen, von der alten Hochfläche begrenzten Erhebung übriggeblieben. So ist es vielfach in den Dolomiten. Ihre steilen Hochgebirgsformen sind durchweg bei der Abtragung einer alten Hochfläche mit Mittelrelief dort hervorgegangen, wo diese stark gehoben ist; sie hat sich lediglich dort erhalten, wo die Hebung geringer war. Deutlich erkennen wir hier, daß es die Größe der Hebung ist, die die Entwicklung des Steilreliefs nach sich zieht. Dessen Gipfelflur gibt aber keineswegs die Höhenlage der ehemaligen Hochfläche wieder. Sie liegt durchweg tiefer und hat von dieser ihre Wellungen nicht ererbt, sondern erscheint als ein Gebilde eigener Art. Wie die Karlinge aus Rundlingen hervorgehen, die von eiszeitlichen Gletschern benagt worden sind, und dabei ihre ursprüngliche Form ganz verlieren, so sind die Steilformen der Ostalpen in weitem Umfange aus Mittelformen hervorgegangen, welche sehr hoch gehoben worden sind. Die Alpen um Innsbruck sind stärker gehoben als die weiter östlich und im Süden gelegenen. Das alte Mittelrelief ist in ihnen bis auf kleine Reste im Karwendelgebirge aufgezehrt worden; und verschwunden sind im Bereiche der Längstäler, weil zu hoch gehoben, die hier wahrscheinlich vorhanden gewesenen Bolsonablagerungen; zur Entwicklung gekommen ist eine Gipfelflur, die ursprünglich tiefer gelegen war als die Hochfläche mit dem Mittelrelief, nun aber infolge stärkerer Hebung über diese weit hinaufgekommen ist. Nur wo im Bereiche der Längstäler die Hebung geringer war, haben sich Formen der alten Hochfläche vererbt; ihre Nachfolger liegen in den Rundlingen vor.

Wenn sich auch in den nördlichen und südlichen Kalkalpen ein uraltes Mittelrelief erhalten findet, und es nicht unwahrscheinlich ist, daß Stücke desselben auch in den rundlichen Formen der östlichen Zentralalpen vorkommen, so darf man doch nicht glauben, daß es sich über die ganzen Ostalpen einheitlich spannte. Es bog jeweils im Bereich der großen Längstäler tief herab und war in jeder Gruppe individuell entwickelt. Auch ist wahrscheinlich, daß es stellenweise, ebenso wie heute, von Hochgebirgspartien mit Steilrelief durchstoßen wurde. Ferner ist keineswegs anzunehmen, daß es überall, wo es heute auftritt, geologisch gleich alt ist. Ist es in einzelnen Gebirgsgruppen nur wenig verbogen, hier und da auch verworfen, so ist es im Bereiche der Längstäler gleichsam in die Tiefe gequetscht und manchmal von den Seiten her überschoben; hier ist eine deutliche Raumminderung eingetreten. Hier wird ersichtlich, daß der Großfaltenwurf eine tangentiale Komponente besitzt, wodurch er dem Vorgange der Schichtfaltung näher rückt als demjenigen erscheint, der nur an die Aufwölbungen in den Sattelregionen denkt. Ja an einigen Stellen geht der Großfaltenwurf sogar in einen *Kleinfaltenwurf* über. Das ist im bayerischen Gebirge der Fall. Neben dem jäh aufragenden Wettersteingebirge erstreckt sich die Senke von Garmisch-Partenkirchen. Nur stellenweise, nicht überall, folgt sie leicht zerstörbaren Gesteinen, durch deren Ausräumung sie erklärt werden könnte, und sie endet gegen Westen am Eibsee unter einer Felswand von 500 m Höhe, die weder auf Unterschneidung durch Wasser oder Eis, noch durch Untergrabung durch ein leicht zerstörbares Sockelgestein zurückgeführt werden kann. Hier muß in jüngster geologischer Vergangenheit eine große Verwerfung geschehen sein. Hier liegt eine jugendliche Versenkung neben einer recht jungen Erhebung, eine Mulde neben einem Sattel. Jäh schnellt die Gipfelflur hier herab. Der Großfaltenwurf der Alpen ist orogenetisch in wörtlichem Sinne, er ist gebirgsbildend. Er ist es aber auch in geologischem Sinne, nämlich der Ausdruck einer Raumminderung. Schlingen sich auch manche Beziehungen vom Großfaltenwurf zur alpinen Gesteinsfaltung, so decken sich die Gebiete beider doch nicht. In den südlichen Kalkalpen sind im Bereiche der Dolomiten bis zur Poebene hin vorwiegend flach gelagerte Schichten in das Bereich der jungen Hebung einbezogen worden, während die stark gefalteten Molasseschichten Oberbayerns außerhalb derselben belassen worden sind. *Es gehört das Gebirge nicht einem bestimmten Strukturtypus an,* es greift aus demselben heraus und schließt Teile desselben aus. Form und Struktur decken sich nicht.

Das gilt auch im einzelnen. Erstaunlich wenig gibt sich der komplizierte Bau mancher Alpenteile in ihrer Oberflächengestalt zu erkennen. Der

Deckenbau der Schweizer Alpen verrät sich nicht durch einzelne Stockwerke in der Erhebung des Gebirges. Diese ist das Werk der späteren Großfaltung; die längst in ihrer geographischen Individualität erkannten Gruppen der Alpen zeigen die Großsättel an. Aber nirgends sind die Wellungen der Großfaltung intakt. Die sich aufwölbenden Großsättel sind schon während ihrer Entstehung durch das rinnende Wasser und die ihm folgende Denudation abgetragen worden. Die Großmulden hatten ein verschiedenes Schicksal: Dort, wo sie sich tief einbogen, wie im Osten des Gebirges, wurden sie verschüttet, wo sie aber in die Gesamthebung des Gebirges mit einbezogen wurden, da wurden sie zerschnitten. Auf beweglicher Bühne spielt die Talbildung in den Alpen. Die Großfaltung wirkte auf sie richtungsbestimmend. Von den Großsätteln strahlen die Täler aus; in den Großmulden laufen sie zusammen und werden von orogenetisch angelegten Längstälern zusammengefaßt. Die Intensität des Großfaltenwurfs bestimmt die Intensität der Erosion und der ihr unmittelbar nachfolgenden Denudation. Wo große Höhenunterschiede zur Entwicklung kamen, entstanden Steilformen, und sanftere bildeten sich an den Stellen geringeren Ausmaßes der relativen Höhen. Danach müssen wir annehmen, daß die *Reliefenergie* des Gebirges, solange sein Großfaltenwurf dauert, in den Großsätteln immer größer als in den Großmulden gewesen ist, und wenn wir in den letzteren ein präglaziales Mittelgebirgsrelief antreffen, so dürfen wir daraus nicht auf ein gleiches präglaziales Relief in den Großsattelregionen schließen. Hier fanden die eiszeitlichen Gletscher höchst wahrscheinlich ein anderes Relief vor, als in den den Großmulden folgenden Tälern. Hier aber auch konnten die eiszeitlichen Gletscher eine andere Wirksamkeit entfalten als in den Großmulden. *Das typische Trogtal ist auf sich hebende Großsattelregionen beschränkt.* Hier ist die glaziale Erosion sichtlich sehr groß gewesen. Die Gletscher haben bereits vorhandene enge Taleinschnitte U-förmig ausgeweitet und vertieft. Daß sie dabei Stufen an den Talmündungen bilden konnten, bedarf keiner weiteren Erörterung. Ob aber alle Talstufen, namentlich die in den übertieften Tälern selbst, auf glaziale Erosion zurückzuführen sind, darf deswegen nicht geschlossen werden. Es ist auch denkbar, daß sie sich an ältere Gefällsbrüche knüpfen. Der Entscheid kann nur durch Einzeluntersuchungen gewonnen werden, die die Herausarbeitung von Formunterschieden einzelner genetischer Typen ins Auge fassen müssen.

Gering war die glaziale Erosion allenthalben in den großen Längstälern, wo äußerst mächtige Eismassen aufgestaut waren. Die Berghänge oberhalb des Innsbrucker Mittelgebirges sind bis hoch hinauf mit Moränen überkleidet, ein Beweis dafür, daß sie nicht unter glazialer Erosion gelitten haben. Daß aber auch nicht der ganze Einschnitt des Inntales in das Mittelgebirge ein Werk glazialer Erosion ist, erscheint mir sicher, seitdem ich nachgewiesen habe, wie tief die Höttinger Breccie, die der großen Interglazialzeit in der Mitte des Eiszeitalters angehört, unter den präglazialen Talboden herabreicht. Dieser mußte wegen seiner Höhenlage in jeder Interglazialzeit auch vom Wasser zerschnitten werden; die letzte Vergletscherung fand ihn schon tief zertalt vor; tief eingeschnitten in den präglazialen Talboden ist der Lauf der Sill aus der letzten Interglazialzeit. Er mündet westlich vom Berge Isel; ihm folgt die Brennerstraße, seine Stufenmündung in Serpentinen ersteigend.

Es wechseln in den Alpen Stellen großer und geringer glazialer Erosion, und begreiflich wird, warum die einen von sehr starker Glazialerosion sprechen, und die andern sie verneinen. Die Wahrheit liegt nicht in der Mitte, sondern bald hier, bald dort. Das ist verständlich. Wo das Abströmen des Eises rasch geschah, war dessen erodierende Wirkung groß, wo es langsam erfolgte, gering, ja minimal. Es muß ferner immer im Auge behalten werden, daß die Täler des Gebirges nicht als Betten einer Bewegung entstanden sind, sondern erst während der Eiszeit solche wurden. Bald waren sie für die abströmenden Eismassen zu eng und seicht, und mußten erweitert und vertieft werden, bald waren sie zu weit, und blieben in ihrer präglazialen Form nahezu erhalten, wobei ihre Gehänge mit einer Decke von Moränen überzogen wurden, wie wir es bei Innsbruck sehen. Die verschieden starke Entfaltung der Erosion in den Alpentälern lehrt uns lediglich, daß das Eiszeitalter eine Episode in der Abtragungsgeschichte des Gebirges ist, eine Episode freilich, die dem größten Teile der Alpen allerdings recht charakteristische Züge aufgedrückt hat, und welche im allgemeinen als eine Periode gesteigerter Abtragung zu gelten hat. Das lehren die ungeheueren Schuttmassen, welche die eiszeitlichen Gletscher aus dem Gebirge heraus auf das Vorland der Alpen gebracht haben, und welche von den von ihnen entströmenden Flüssen nicht fortgeschafft werden konnten.

Diese Abtragung wirkte indes während des ganzen Eiszeitalters nicht fortlaufend. Sie wurde während der Zwischeneiszeiten durch wiederholte Zuschüttungen der Alpentäler unterbrochen. Solche erfolgten namentlich im Inntale. In der letzten Interglazialzeit wurde letzteres bis zur Höhe des präglazialen Talbodens herauf mit Schotter, Sand und Ton erfüllt, und dann schnitt der Inn wieder ein. Neben der alten felsigen Terrasse ist eine jüngere Schotterterrasse entstanden. Namentlich oberhalb Innsbruck ist sie gut entfaltet, im Unterinntale baut sie den Gnadenwald auf. Lang ist erörtert worden, warum diese Aufschüttung erfolgte. Erst nach und nach haben sich die Meinungen dahin geeint, daß sie infolge von Krustenbewegungen geschah. Es bog sich in der letzten Zwischeneiszeit das Inntal ein, ein See entstand, der zugeschüttet wurde; dann hob sich das Land wieder, und zwar in ungleicher Weise. Der Spiegel des alten Sees liegt oberhalb Innsbruck 220 m, unterhalb, am Vomperloche, nur 100 m über der Stadt. Es vollzog

sich im Inntale eine Art Schwingung der Erdkruste. Gleiches hat sich auch in anderen Alpentälern, z. B. im Isartale ereignet. Derartige Schwingungen können im Gefolge der Eiszeit auftreten. Die Last einer Vergletscherung drückt das Land ein, ihr Schwinden hat ein Wiederaufsteigen zur Folge, wie solches in Skandinavien geschieht. Man kann daran denken, daß auch in den Alpen derartige *isostatische* Bewegungen vonstatten gegangen sind, wenn auch hier die Mächtigkeit und namentlich die Ausdehnung der Vergletscherung weit geringer gewesen ist als im Norden Europas. Aber die Beschränkung solcher Schwingungen auf einzelne Täler und ihr Fehlen in benachbarten macht nötig, neben isostatischen Bewegungen auch orogenetische zur Erklärung der quartären Talgeschichte der Alpen heranzuziehen. Wenn isostatische Bewegungen vorhanden waren — und daran zu zweifeln, liegt keine Veranlassung vor — so kombinierten sie sich immer mit orogenetischen, und im Zusammenwirken und Gegeneinanderwirken beider liegt möglicherweise der Schlüssel zum Verständnis der recht verschiedenen jüngsten Geschichte der einzelnen Alpentäler, vielleicht auch die Erklärung dafür, daß wir in den Schweizer Alpen so herrliche Talseen haben, während sie in den Ostalpen fehlen. Wie dem auch sei, die Schotterterrasse des Inntales macht uns ebenso wie dessen mächtige Erfüllung mit Anschwemmungen mit einer außerordentlich großen Beweglichkeit der Erdkruste im Bereiche einer alpinen Großmulde bekannt.

Es gilt beinahe als Axiom in der Alpengeologie, daß das Gebirge in jüngerer geologischer Vergangenheit nicht der Schauplatz vulkanischer Tätigkeit gewesen ist, obwohl seit mehr als 60 Jahren durch PICHLER-Bimsstein aus dem Ötztal bekannt geworden ist. Das Vorkommnis ist klein und hat deswegen kaum Beachtung gefunden. Gelegentlich der geologischen Neuaufnahme des Ötztales durch den Direktor der österreichischen geologischen Bundesanstalt ist es kürzlich sozusagen neu entdeckt worden, und die Akademie der Wissenschaften in Wien hat die Mittel für seine Bloßlegung gewährt. Es ist ein Gang von kaum 10 m Länge und kaum 0,5 m Breite. Es war ein überaus glücklicher Gedanke von den Veranstaltern des Innsbrucker Naturforschertages, daß sie vor der Zusammenkunft zu einer Exkursion an diese einzigartige Stelle der Alpen einluden. Direktor HAMMER war der Führer; nur 5 Teilnehmer begleiteten ihn zu dem im Walde nördlich Köfels gelegenen Vorkommen. So klein es ist, so bemerkenswert sein Auftreten. Es liegt am Boden einer halbkesselförmigen Vertiefung an der linken Flanke des Ötztales unweit Umhausen. Gegenüber befindet sich der wüste Trümmerhaufen des Tauferer Berges, welcher sich wie ein Damm vor das Hairlachtal legt und mit einem wüsten Trümmerwerk, der Maurach, bedeckt ist. Die Ötztaler Ache durchbricht ihn. Sie schneidet hier Felsen an, aber dieser ist einer von solcher Klüftigkeit, daß er bloßgelegt, sofort in Trümmer fällt. Seine Durchsägung macht dem Flusse keine Schwierigkeit. Es handelt sich nicht um den sonst so festen Gneis, sondern um ein gewaltsam zerrüttetes Gestein, das bei einer vulkanischen Explosion in Trümmer gegangen ist. Diese sprengte den Halbkessel um Köfels aus, und warf die Trümmer in die Mitte und an die andere Seite des Tales. Wir haben es im Ötztale mit einem ähnlichen Sprengloche zu tun, wie sie in den Maaren der Eifel vorliegen, und mit dem dazu gehörigen Trümmerhaufen. Daher dürfen wir von einem postglazialen Vulkane im Ötztale sprechen. Das Antlitz der Alpen erscheint nunmehr bereichert um einen Zug, der ihm bisher völlig fremd zu sein schien, nämlich um *vulkanische Formen*. Dieser verschwindet dermaßen unter der Fülle anderer, daß er sich bisher der Beachtung entzogen hat. Aber so klein er auch ist, so groß ist seine theoretische Bedeutung. Ist die Schichtfaltung der Alpen, wie immer aufs neue betont worden ist, ohne Mitwirkung vulkanischer Kräfte geschehen, so ist ihre Erhebung von solchen begleitet, und es ist kein prinzipieller Unterschied mehr zwischen Alpen und Kaukasus, wenn dieser von seinen Vulkanriesen Elbrus und Kasbek überragt wird. Das Sprengloch von Köfels verrät uns, daß auch der alpine Großfaltenwurf mit vulkanischer Tätigkeit verbunden ist.

Hat uns die Schichtfaltung in den Alpen mit großartigen Krustenbewegungen bekannt gemacht, die hier einst gespielt haben, so zeigen uns einzelne Züge in ihrem Antlitz, daß solche noch hier in jüngster geologischer Vergangenheit stattgefunden haben. Der Bruch am Eibsee, die jähe Aufwölbung des interglazialen Seebodens im Inntale und schließlich der postglaziale Vulkan von Köfels charakterisieren Nordtirol und Oberbayern als einen überaus unruhigen Teil der Erdoberfläche. Es erscheint dringend geboten, genaue Messungen zu veranstalten, um festzustellen, ob nicht auch in aller Stille unaufhörlich hier Krustenbewegungen vonstatten gehen. Nicht nur möchten die Triangulationen, die sich über die Gipfelflur spannen, von Zeit zu Zeit wiederholt werden, ebenso wie die Nivellements, die durch die Täler geführt sind, sondern auch ihre Verbindung ist zu erneuern, und vor allem sind Nivellements über das Hochgebirge zu führen. Die Kämme im Norden und Süden des Inntales, bilden heute die Grenze Tirols. Möchte die Wissenschaft diese Grenzen überschreiten dürfen, die durch ein einheitliches Land gezogen worden sind.

Das Antlitz der Alpen steht in vieler Abhängigkeit von der Eiszeit, aber was diese Periode ihrer Geschichte gezeitigt hat, sind im Grunde genommen doch nur Verzierungen in den größeren Formen der Täler, den durch die Denudation erweiterten Einschnitten des rinnenden Wassers. Wird die Richtung der letzteren durch die letzten orogenetischen Bewegungen festgelegt, so wird die Entfaltung der ersteren, wie allenthalben auf der Erde, ganz wesentlich von der Struktur der durchschnittenen Krustenteile bestimmt. In den Hangformen der

Täler kommt die Tektonik des Gebirges vielfach mittelbar durch die Verschiedenheit der Gesteine zum Ausdruck, die bei den tektonischen Bewegungen nebeneinander gebracht worden sind. Die in den Zentralalpen zutage tretende Tiefenregion der Faltung hat ein anderes Relief als die einzelnen Schubdecken der nördlichen Kalkalpen, in denen verschieden widerstandsfähige Gesteine durcheinander geschoben worden sind, und anders wieder ist das Relief des flachgelagerten Deckgebirges in den südlichen Kalkalpen. Im Bereiche aller dieser Gesteine kommen Kare und Tröge, kommt die Übertiefung vor, soweit sich eiszeitliche Gletscher erstreckt haben, und über alle diese Gesteine spannt sich die Gipfelflur; doch kommen nur die widerständigsten an sie heran, die schwächeren bleiben etwas darunter. Die großen spiegeln die noch stattfindenden orogenetischen Vorgänge; neben ihren großen Wellenbergen und Wellentälern, die dem Großfaltenwurf entsprechen, gibt es kleinere Wellenberge und Wellentäler, entsprechend der wechselnden Festigkeit der an sie herantretenden Gesteine. Die heutigen Alpen sind nicht die Ruine eines früheren Bauwerkes, das unmittelbar der Zerstörung anheim gefallen ist. Sie bilden sich noch ständig fort. Ihr Antlitz zeigt Spuren ihres hohen Alters, viele Zeugen jugendlichen Wachstums; sie sind durchweg noch in aufsteigender Bewegung begriffen, welche wie mit gesteigerter Intensität frühere Bewegungen fortsetzt. Aber es kommen orogenetische Bewegungen nicht voll in ihrer Oberflächengestattung zur Geltung, denn allenthalben wirkt ihnen notwendigerweise die Abtragung entgegen. In dem Gegeneinanderwirken von Hebung und Abtragung haben wir das Minenspiel, das dem Studium des Antlitzes der Alpen hohe Reize verleiht, und die Forschung noch in ferner Zeit beschäftigen wird.

Über die Tektonik der Alpen.

Von OTTO AMPFERER, Wien.

Es ist meine heutige Aufgabe, Ihnen ein Bild vom geologischen Aufbau der Alpen zu entwerfen.

Ich könnte diese Aufgabe am leichtesten durch ein Referat über den gegenwärtigen Stand unserer Einsichten und Vermutungen erfüllen, das sich im wesentlichen auf eine Verwertung und Beurteilung der großen und ständig wachsenden Literatur über diesen Gegenstand zu stützen hätte.

Eine solche Arbeit zu leisten entspricht jedoch weder meiner Lebensart, noch würde damit der Ehre unserer Versammlung Genüge geleistet, Gedanken und Ergebnisse zu wiederholen, die vielleicht ohnehin zu oft schon wiederholt wurden und dadurch ihre Frische verloren haben.

So bleibt mir also nichts anderes übrig, als Ihnen über Vorstellungen und Methoden zu berichten, welche mit meiner eigenen Alpenforschung eng verbunden sind, freilich in ständiger Fühlung und Mitberatung mit den Fortschritten anderer Forscher, welchen die Lösung derselben Fragen am Herzen liegt.

Es wird sich dabei allerdings nicht vermeiden lassen, eine Reihe von Streitfragen zu streifen und vielfach von begangenen Wegen abzuweichen mit allen Vorteilen und Gefahren, wie es eben die geistige Pfadsucherei gerade mit sich bringt.

Die Erforschung der Alpen hat sich sehr verschiedener Methoden bedient.

Alle sind nötig, um die großen Schwierigkeiten zu überwinden, aber sie wurden zu verschiedenen Zeiten mit verschiedener Vorliebe verwendet. Jede Zeit hat gewissermaßen ihre geistigen Lieblingswerkzeuge, mit denen sie am besten vorwärtszukommen meint.

Unsere Zeit hat die tektonische Forschung in den Vordergrund gerückt, und über diese will ich hier weiter berichten.

Die Erforschung der Tektonik der Gebirge, also des inneren Baues derselben, kann in ihrer reinsten Form als eine mechanisch-kinetische Untersuchung betrieben werden, deren Ergebnisse auch nicht verändert würden, wenn die einzelnen Schichten keine Fossilien enthielten.

Ich will nun im folgenden zunächst eine gedrängte Übersicht der wichtigsten Hypothesen über den Bau der Alpen geben.

Die Kürze der Zeit und das Vorwärtseilen verhindern hierbei eine historisch vollständige Aufzählung, und Auslassungen sind daher durchaus nicht etwa als Minderbewertungen zu verstehen.

Stets hat jede wichtige Beobachtung zu einer Hypothesenbildung geführt.

Sie gehören gleichsam wie Blitz und Donner zusammen.

Jede dieser Hypothesen enthält brauchbare und dem Fortschritt dienliche Gedankenwerte. Keine derselben hat aber die Kraft, alle Erscheinungen und Beobachtungen zu durchleuchten oder etwa die künftigen vorherzusagen.

Es wäre Vermessenheit, von einer alleinseligmachenden Lehre zu reden, und ein trauriges Ende all des rastlosen Suchens und Denkens ebenso schrecklich, wie statt der großartigen Unendlichkeit des Weltraums eine bestimmte und bekannte Endlichkeit desselben wäre.

Überblickt man die Reihenfolge der zur Erklärung des Alpenbaues verwendeten Hypothesen, so erkennt man unschwer, wie die ständig genauer eindringenden Beobachtungen ein immer höheres Maß von Beweglichkeit für das Zustandekommen dieses Bauwerkes verlangten.

Wenn man bedenkt, daß Gesteine als Baumaterialien nur mangelhafte und oft schwer verständliche Auskünfte über ihre Durchbewegung zu geben vermögen, so wird man die Abneigung der älteren Geologen gegen die Verwendung von großen Bewegungsausmaßen begreifen. Es zeigt sich nun aber, daß auch in der Feinstruktur der alpinen

Gesteine, soweit sie nicht gerade lokal geschont wurden, hohe Bewegungssummen verborgen sind.

Noch größere Summen geben sich in den Quer- und Längsprofilen zu erkennen, die allergrößten aber, wenn man die Schlingen der Faltengebirgsstränge derselben Betrachtungsweise unterwirft.

Dieses Ergebnis hängt unmittelbar mit den verschiedenen Dimensionen zusammen, in denen die vollzogenen Bewegungen verzeichnet wurden, und wir erkennen, daß zur Beurteilung jener Bewegungen, welche einst die Alpen erschaffen haben, am besten gleich große oder noch größere Aufschreibtafeln geeignet sind.

Also werden uns die großen Faltenschlingen über die Gesamtausmaße verläßlicher berichten können, als dies Dünnschliffe oder Profile jemals vermögen.

Ich schalte nun hier eine kurze Charakteristik der Haupterklärungsversuche ein.

Steilstellung der Sedimente an den Außenrändern, das Auftreten großer Eruptivmassen in der Mittelachse und ein im Querschnitt symmetrischer Bau begründeten die vulkanische Erhebungslehre, welche mit dem Namen LEOPOLD VON BUCH verbunden bleibt.

Außerordentliche Schichtmächtigkeiten und marine Ausbildung innerhalb der Faltengebirgszonen, außerhalb derselben Schichtarmut und Schichtlücken führten zur Aufstellung der Geosynklinalhypothese und weiter zu jener der Isostasie.

Einseitigkeit des Schichtbaues, Passivität der Zentralmassive und Mitfaltung derselben, im Sinne der Einseitigkeiten nach außen gekrümmte Gebirgsbögen leiteten zur Lehre von der tangentialen Faltung der Erdkruste und weiter zur Begründung der Kontraktionslehre hin. EDUARD SUESS hat dieser Lehre in seinem Antlitz der Erde monumentalen Ausdruck verliehen und ALBERT HEIM in seinem Mechanismus der Gebirgsbildung eine ausgezeichnete technische Darstellung der symmetrischen und unsymmetrischen Faltung geliefert.

Der Fortschritt der Aufnahmen wies auf immer gesteigerte Einseitigkeit der Faltung und immer ausgedehntere Schubmassen hin. Dies fand endlich seinen Ausdruck in der Überfaltungslehre, welche von BERTRAND und SCHARDT eingeleitet, von LUGEON und TERMIER einen glänzenden Ausbau erhielt.

Ihre Übertragung in die Ostalpen haben zuerst TERMIER und HAUG, später STAUB besorgt. Von den ostalpinen Geologen hat sich zuerst UHLIG mit einigen seiner Schüler dieser neuen Auffassung des Alpenbaues angeschlossen, und nach seinem Tode ist LEOPOLD KOBER der Führer des ostalpinen Nappismus geworden. Nach dieser Lehre bestehen die Alpen aus einer Anzahl von riesigen Falten, welche steil aus sog. Wurzelzonen herausgepreßt, nach außen umgelegt und übereinandergeschoben sein sollen.

Diese Lehre, welche heute bereits in den meisten Lehrbüchern der Geologie Aufnahme gefunden hat, kann derzeit wohl als die offizielle Alpenerklärung bezeichnet werden.

Neben und außerhalb der Kontraktionslehre haben sich andere Vorstellungen entwickelt, welche nicht die Mithilfe der Erdkontraktion benötigen.

Hierher gehören die vulkanischen Erhebungshypothesen, die Abgleitungshypothese von REYER und VACECKS Vertikalschwankungshypothese mit transgressiver Einlagerung der jeweils jüngeren Sedimente in ein älteres Gebirgsrelief.

Auch die Isostasielehre braucht die Erdkontraktion nicht zur Mithilfe, wie neuerdings SANDBERG wieder gezeigt hat.

Ich selbst habe seit 1906 die Meinung vertreten, daß die irdischen Faltengebirge nur Abbildungen von Strömungen sind, welche in ihrem Untergrunde sich abspielen.

Diese Unterströmungshypothese macht die Gebirgsbildung von der Erdkontraktion völlig unabhängig, ohne dabei über das Vorhandensein derselben selbst etwas auszusagen.

Mit diesen wenigen Angaben will ich die historische Einleitung beschließen und nun eine Darstellung der alpinen Mechanik versuchen. Ich gehe dabei von den im Mikroskop erkennbaren Feinstrukturen der Gesteine aus und wende mich dann zu immer größeren gesteinserfüllten Bewegungsräumen, um mit den großen Faltengebirgsschlingen einen Abschluß zu erreichen.

Alle hierhergehörige Beobachtung ist eine optische, also ein Erfassen und Ordnen der Dinge mit dem menschlichen Auge.

Seine Kleinheit und Schwäche macht die Methoden ungemein mühsam und verhindert insbesondere bei allen größeren Räumen eine direkte und unmittelbare Kenntnisnahme.

Die Gesteine bestehen in der überwiegenden Mehrheit aus verschiedenartigen Bestandteilen, die in mannigfaltigen Verbänden ihre Massen zusammensetzen.

Man kann sich nun von vielen Standpunkten aus mit der Zusammensetzung der Gesteine beschäftigen. Wichtige Standpunkte, die schon vielerlei Einsichten ergeben haben und durchaus noch nicht erschöpft sind, sind die mineralogische Betrachtung, die chemisch-physikalische, die Untersuchung der Fossilgehalte und der Entstehungsgeschichte.

Man kann die Gesteine aber auch einfach als Ordnungen kleiner und kleinster Teilchen begreifen und weiter dann versuchen, von solchen erkannten Ordnungen aus die dazugehörigen Bedingungen der Umgebung zu studieren.

Als Ordnungen werden hier in eingeschränktem Sinne nur jene Formen herangezogen, die noch durch eine einfache gegenseitige Beziehung mit dem Auge irgendwie überblickbar und prüfbar sind.

Es ist dies natürlich nur eine sehr bescheidene Auslese, doch verliert ohne eine solche Einschränkung dieser Begriff seine Benutzbarkeit, insofern als man schließlich jeden Zustand als Ordnung nehmen kann, auch wenn derselbe nur einen Moment besteht und niemals menschlich überblickbar oder erkennbar wird.

Die Ordnungen, mit welchen es der Geologe bei der Gesteinsuntersuchung vor allem zu tun hat, sind teils solche, welche bei der Bildung des betreffenden Gesteins entstanden und seitdem im wesentlichen beibehalten worden sind, teils solche, welche im wesentlichen aus späteren Umformungen hervorgegangen sind, die das schon fertige Gestein betroffen haben.

Man kann die ersten Ordnungsarten als angeborene, die zweiten als erworbene bezeichnen.

Von den hier in Betracht kommenden Ordnungen ist bisher nur ein Teil erforscht, und zwar vor allem der rein mineralogische, während die Feinstrukturen, wie sie unter den verschiedenartigen Bedingungen des Absatzes in fließendem oder ruhigem, in seichtem oder tiefem, in kaltem oder warmem Wasser, bei Anwesenheit und Mitwirkung anderer Stoffe . . . bei der Erstarrung von Schmelzflüssen unter wechselndem und gleichem Druck, in verschiedener Umgebung, zwischen ruhigen oder bewegten Gesteinsmassen . . . in weitestem Umfang noch der Erforschung harren.

Noch ausgedehnter ist das Arsenal der nach der Geburt erworbenen Strukturen, deren Erforschung erst im Anfangsstadium steht. Hier bedeuten die Arbeiten von BR. SANDER, welcher die tektonische Erforschung des Dünnschliffbildes, also die Mikrotektonik, begründet hat, vielfache Richtlinien für die Erkenntnis jener Gesteinsstrukturen, welche durch tektonische Vorgänge herbeigeführt wurden.

Solche Gesteine, welche im Baumaterial der Alpen eine hervorragende Rolle spielen, wurden von SANDER allgemein als Tektonite bezeichnet.

Bei der Erforschung der Materialumwandlungen, welche bei den tektonischen Bewegungen entstehen, hat sich nun gezeigt, daß im allgemeinen die angeborenen Strukturen eine große Haltbarkeit besitzen und die späteren Umformungen sich gerne der schon vorhandenen Erstordnung der Teilchen anschließen, sofern dies irgend möglich ist.

Insbesondere erweist sich z. B. primäre Feinschichtung als eine vorzügliche Dauerordnung, welche oft noch nach gewaltsamen Pressungen und Verfaltungen die Ausgangsstruktur erkennen läßt.

Bei der Buntheit und Vielgestalt der Teilchen in vergrößerten Dünnschliffbildern der Gesteine ist das Erkennen von durchgreifenden Ordnungen oder von Gefügeregelungen keine leichte Aufgabe. In vielen Fällen lassen sich sogar solche Ordnungen bei schwächeren Vergrößerungen, im Handstück oder an geschliffenen Felsen oder sogar bei unscharfer Einstellung leichter auffinden als bei starker Vergrößerung und deshalb sehr kleinem Gesichtsfeld.

Die Mikrotektonik ist ein Forschungsgebiet für sich, sie hat aber auch für die Tektonik größerer und großer Massen vielfache Bedeutung.

Zu dieser Verwendung ist es nötig, daß die im Mikroskop feststellbaren Veränderungen solche sind, welche in der Großtektonik dann als Summationen der Kleintektonik auftreten. SANDER hat diese Forderung als Korrelation zwischen Mikro- und Makrotektonik festgehalten.

Wenn wir einen Metallstab besitzen, dessen Feinstruktur untersuchen, den Stab dann einer Streckung unterwerfen und neuerdings die Feinstruktur prüfen, so werden wir mit hoher Wahrscheinlichkeit die nun feststellbaren Änderungen der Feinstruktur auf Rechnung der eingetretenen Streckung setzen können.

In diesem Falle wird sich die Streckung des ganzen Stabes als eine Summe der Streckungen ergeben, die wir im einzelnen Dünnschliff zu erkennen vermögen.

Da man hier die Gesamtwirkung kennt, ist die Genauigkeit der Methode unschwer festzustellen, und man kann umgekehrt aus den Dünnschliffangaben auf die Großänderungen schließen.

In der Geologie besitzen wir keine so einfache, experimentelle Kontrolle.

Wenn wir z. B. beobachten, daß die oberjurassischen Aptychenkalke an geschonten Stellen im Durchschnitte Schichtlagen von ca. 1 dm Dicke bilden, an anderen Stellen aber auf etwa 1 mm Dicke ausgewalzt sind, so können wir daraus noch nicht auf eine etwa hundertfache Verlängerung und Verbreiterung dieser Schichtzone schließen, weil möglicherweise diese Verdünnung durch eine entsprechende Verdickung in ihrer Gesamtwirkung aufgehoben wird.

Es ist also eine ständige Fühlung zwischen der Erforschung des Klein- und Großgefüges nötig, wenn die Ergebnisse zur richtigen Einschätzung gelangen sollen.

Bei den krystallinen Gesteinsarten spielen neben rein mechanischen Umformungen auch noch die Einflüsse von Krystallisationen mit, welche durch Gase oder Lösungen oder Magmen von hoher Temperatur leicht herbeigeführt werden können.

Hier ist das ebenfalls von SANDER eingehend studierte zeitliche Verhältnis zwischen den mechanischen Deformationen und den Umkrystallisationen von Interesse.

Geologisch bedeutsam wird die Feststellung vom gegenseitigen zeitlichen Verhältnis zwischen Mechanik und Krystallisation, wenn dieses Verhältnis ungefähr gleichbleibend über größere Räume anhält.

Bei zu raschem Wechsel ist die Erforschung wegen der Herstellung und Prüfung allzu vieler orientierter Schliffe ein mühsames und teures Unternehmen.

Für die Tektonik ist das Verhältnis von Mechanik und Krystallisation ebenfalls überaus wichtig. Die Mechanik größerer Erdtiefen erhält durch die leichtere und häufigere Mitwirkung von Umkrystallisationen das Gepräge weit höherer Beweglichkeit und reiner fließender Formgestaltung.

Hier gewinnt für den Tektoniker auch die Frage Reiz, in welchem Ereigniswert Mechanik und Krystallisation zueinander stehen. Das heißt mit anderen Worten, ob z. B. eine mechanische Umformung das Ergebnis eines großen tektonischen Vorganges, die Umkrystallisation aber vielleicht nur ein vorübergehendes Tiefertauchen an einer Bewegungsbahn verkündet.

Auch der umgekehrte Fall ist möglich, daß nämlich die Krystallisation das Produkt einer mächtigen und lange andauernden Versenkung ist, während die nachfolgende mechanische Zertrümmerung vielleicht beim kurzen Aufreißen und Zustoßen von Spalten entstanden ist. Die Frage nach den Ereigniswerten von Strukturen wird in den Alpen noch dadurch erschwert, als wir hier im Bereiche des krystallinen Gebirges jene bequemen historischen Zeitmarken nicht besitzen, die in den Nordalpen durch die Transgressionen von Zenoman-Gosau-Tertiär-Glazial eingezeichnet und unserer Zeitrechnung doch einigermaßen zugänglich sind. Es ist jedoch zu hoffen, daß hier die Radium- und Atomforschung vielleicht neue Wege und Einsichten zu eröffnen vermag.

Wir sind bereits dazu gelangt, die Wichtigkeit der Feinstrukturen für die Deutung und das Verständnis der Großstrukturen richtig einzuschätzen.

Es gibt aber auch eine Reihe von Fragen, wo uns die Erforschung der Feinstrukturen allein noch Auskunft geben kann.

Es sind dies z. B. Fragen nach der Tiefe und der Temperatur, kurz nach der Beschaffenheit jener Räume, in denen die heute vorliegenden Strukturen sich gebildet haben können. Eine wichtige Frage ist weiter, unter welchen Umständen und bis zu welchem Grade eine Anpassung der Feinstrukturen an ihre Umgebung erfolgt.

Würde sie rasch und jederzeit erfolgen, so müßten z. B. in einem von der Erosion bearbeiteten Hochgebirge auch die ursprünglich tief liegenden Gesteinsschichten allmählich oberflächennahe Strukturen gewinnen. Dies ist sicher nicht der Fall.

Es muß also Räume und Zeiten gegeben haben, in denen die Umprägungen der Strukturen vor sich gegangen sind und wo dieselben zugleich vielfach so haltbar geworden sind, daß sie in der Folge diese Strukturen auch in Orten und Zeiten zu bewahren vermochten, wo sie nicht mehr zur Umgebung passend sind.

Es unterliegt wohl kaum einem Zweifel, daß die tieferen Erdräume mit ihren Wärmeschätzen und heißen Lösungen in erster Linie die Prägestätten neuer krystalliner Strukturen sind, es ist aber weiter recht wahrscheinlich, daß auch in diesen Tiefen die Umformungen nicht ständig gleich, sondern in Zeiten der Gebirgsbildungen und Magmabewegungen mit gewaltigen Steigerungen vor sich gegangen sind.

Im Bereiche der sedimentären Gesteine hat die Erforschung der Feinstrukturen etwas andere Aufgaben.

Hier spielen die Umkrystallisationen eine bescheidene Rolle, und die Hauptaufgabe bleibt die Feststellung der sedimentären Ausgangsstruktur und ihrer späteren Umgestaltungen.

Den Wert der Sedimentpetrographie hat vor allem ANDRÉE seit langer Zeit betont. In Frankreich, in Deutschland und in der Schweiz besitzen wir schon zahlreiche hierhergehörige Arbeiten, während in Österreich erst Anfänge zu verzeichnen sind. Auch hier hat SANDER mit seinen Arbeiten über die Bitummergel neue Wege angebahnt.

Der Übergang von den Feinstrukturen zum Handstück, zur Felswand und zum Gebirgsprofil ist nur mit steter Achtung auf die Zusammengehörigkeit der Strukturen zu vollziehen.

Die Möglichkeit einer falschen Beziehung von Feinstrukturen auf eine heutige Großform, zu der sie aber innerlich nicht gehören, ist in manchen Fällen bedenklich nahegerückt. Es ist sogar möglich, daß die Ermüdung der Gesteine und die Erschöpfung ihrer Anpassungsfähigkeit Zustände vorspiegelt, die bei normalen Verhältnissen ein ganz anderes Aussehen haben.

Tausende von geologischen Durchschnitten sind heute bereits kreuz und quer über die Alpen gezogen, und wir legen uns die Frage vor, was man etwa in Kürze als die mechanischen Hauptergebnisse dieser vielseitigen geistigen Durchleuchtung bezeichnen kann.

Zunächst finden wir in den ganzen Alpen nicht eine Falte, welche etwa die ganzen hier entwickelten Schichtglieder einheitlich ergriffen hat.

Immer und überall treten Störungen dazwischen, welche das Bauwerk gleichsam in einzelne, verschiedene Stockwerke zerlegen.

Unter jeder enggefalteten Zone muß eine Schubfläche eingeschaltet sein.

Dies ergibt eine einfache geometrische Konstruktion. Also bedingt Engfaltung notwendig die Ablösung vom Untergrund. Mit dieser Ablösung ist aber schon eine Gliederung in Schubmassen gegeben. In den sedimentären Teilen der Alpen treffen wir meist Schubmassen, welche etwa eine Mächtigkeit von 2000—3000 m, selten darüber, einhalten.

Im krystallinen Gebiete ist die Dimensionierung nicht wesentlich höher.

Es tritt hier jedoch oft an Stelle einer Schubbahn ein Bewegungshorizont, eine Mylonitzone oder eine Eruptivmasse, wodurch die zur Gesamtbewegung nötige Gliederung der Massen oder ein Wechsel im Bauplan erreicht wurde. Es erhebt sich gleich die Frage, ob die Zerlegung in so verhältnismäßig dünne Schubmassen das Primäre und die Engfaltung das Sekundäre ist oder die Verhältnisse umgekehrt liegen.

Sieht man genauer zu, so erkennt man, daß die Zerlegung in Schubmassen wohl das Primäre sein muß und die Engfaltung erst nach der Ablösung vom Untergrunde erfolgte.

Als Ursache der Zerlegung stellen sich sehr häufig besonders gleitfähige, plastische Schichtzonen heraus. Das würde wenigstens in vielen Fällen für die Zerlegungen ein Abgleiten im Schweregefälle wahrscheinlich machen.

Die Verfaltung der Schichten aber wäre in solchen Fällen durch die Gleitung verursacht, und zwar entweder durch Unebenheiten der Fahrbahn oder durch ungleiche Reibung und ungleiche Geschwindigkeiten.

Eilen die Hangendschichten voraus, so kann bei dazu geeignetem Material eine nach abwärts ge-

krümmte Einrollung entstehen, eilen aber die Liegendschichten voraus, so bilden sich aufsteigende Einrollungen heraus.

Unter günstigen Umständen ist mit diesen bescheidenen Mitteln und unter dem nötigen Druck die Erzeugung von großen Liegfalten möglich.

Es ist aber wohl zu bemerken, daß bei dieser Ableitung der Liegfalten die Gleitung oder Schiebung der erste Akt und die Einrollung der zweite ist, welcher nur bei günstigen Umständen zur vollen Entfaltung gelangt. Die Einrollung von Schichten infolge von ungleicher Bewegung kann man auch als Wirbelbildung bezeichnen.

Nach der horizontalen Ausgangslage der sedimentären Schichten wird man es bei Gleitungen oder Schiebungen vor allem mit Wirbeln mit mehr oder minder horizontalen Achsen zu tun haben.

Der Vergleich mit Wirbelbildungen ermöglicht nun auch die Auflösung von vielen ungemein kompliziert verschlungenen Formen, die keine Falten sind, wie sie etwa durch seitliches Zusammenpressen entstehen.

Die Tektonik hat bisher fast ausschließlich mit Pressungsfalten gerechnet.

Ohne Frage spielen auch solche beim Alpenbau eine wichtige Rolle.

Daneben aber kommen in zahlreichen Fällen auch Wirbelgebilde vor, die einem ganz anderen Mechanismus entsprungen sind.

Die Unterschiede zwischen Pressungsfalten und Roll- oder Walzfalten sind auffallend. Als Endziel der Pressungsfaltung kann man die Senkrechtstellung der Schichtglieder bezeichnen. Es ist dies eine sehr einfache Anordnung der Schichten im Fallen, welcher zumeist auch im Streichen ein lang ausdauerndes Hinziehen entspricht.

Weiter stehen bei der Pressungsfaltung die einzelnen Nachbarfalten in einem strengen Abhängigkeitsverhältnis. Es kann keine einzelne verändert werden, ohne daß auch die Nachbarn daran Anteil nehmen.

Für die Roll- und Walzfaltung ist im Gegenteil ein lockerer Verband, weitgehende gegenseitige Unabhängigkeit, lebhafte, rasch wechselnde Formgebung geringe Ausdauer im Fallen und Streichen bezeichnend.

Während man bei der Pressungsfaltung aus einzelnen erhaltenen Resten unschwer Luft- oder Erdverbindungen konstruieren kann, ist dies bei Wirbelgebilden viel schwieriger möglich, weil die einzelnen Wirbel vielfach für sich gebildet wurden und von der Nachbartektonik ziemlich unabhängig sind. Eine Folge dieser Bauweise ist auch ein großes Ersparnis von Luftverbindungen, wenn man etwa versuchen will, aus Erosionsresten auf ehemalige Vollformen zu schließen. Jedenfalls erfordert die Ergänzung derselben Erosionsreste zu vollständigen Pressungsfalten meist einen weit größeren Massenaufwand.

Es sind also Walzfalten trotz großer Kompliziertheit eine innerlich sehr sparsame Bauform.

Wenn die hier vorgetragene Ableitung stimmt, so muß zur Zeit der Abgleitung ein entsprechendes Gefälle und eine entsprechende Deckschubmasse vorhanden gewesen sein.

Weiter muß die Einrollung im Sinne dieses Gefälles erfolgt sein.

Durch das Abgleiten ergibt sich dann unmittelbar in der einen Richtung eine Schichtenanhäufung, in der entgegengesetzten dafür ein Schichtenausfall.

Zwischen diesen beiden mechanisch so charakterisierten Zonen muß endlich die Gefällstrecke selbst eingeschaltet gewesen sein.

Geht man die alpinen Querprofile prüfend durch, so entdeckt man in den Kalkalpen am ganzen Außenrand der Alpen zunächst einmal eine mehrfache Übereinanderhäufung von Schubmassen. Wo immer Sie heute diese Gebirgszone kreuzen, werden Sie einen Aufbau aus mehreren übereinander liegenden Schubmassen entdecken. Die geologische Landesaufnahme der letzten 3 Dezennien hat diese Auflösung des Gebirgskörpers in einzelne Schubmassen größtenteils schon durchgeführt.

Wenn in den Westalpen dabei mehr von Überfaltungsdecken und in den Ostalpen mehr von Schubmassen die Rede ist, so liegt dies zunächst im verschiedenen Gesteinsmaterial begründet.

Die mächtigen Triaskalke und Dolomite der Ostalpen sind zu feinen Verfaltungen nicht zu brauchen.

Wo aber in den Ostalpen plastischere Schichtserien, wie z. B. in den Lechtaleralpen, auftreten, haben wir auch sofort den lebhaften Faltenschwung. Umgekehrt, wo in den Westalpen schwere, starre Massen, z. B. Verrukano, am Bau teilnehmen, sind auch gleich die glatten Überschiebungen da. Außerdem hat aber auch die westalpine Tektonik vor allem Faltungsmuster nach HEIM zur Erklärung benutzt, während in den Ostalpen mehr mit Verwerfungen und Überschiebungen nach BITTNER und ROTHPLETZ gearbeitet wurde. Beide Methoden haben Berechtigung, solange man allzu schematische Anwendungen vermeidet.

Südlich von dieser heute offenkundigen Anhäufungszone liegen nun zwar nicht mehr zusammenhängend, aber doch an vielen Stellen mächtige Aufwölbungen, welche als Schwellen für große Abgleitungen in Betracht kommen.

In der Schweiz ist das Finsteraarhornmassiv

Für die Ostalpen gilt nun weiter noch eine wichtige Gesetzmäßigkeit:

Wir finden im Bereiche dieser alten Aufwölbungen ständig große Schichtlücken, dagegen im Bereiche des nördlicheren Senkraumes unter den Schubmassen einen auffallenden Schichtreichtum.

Die genauere Besichtigung hat nun ergeben, daß diese südliche Hebungszone schon in sehr früher Zeit bereits der Erosion ausgesetzt war, während in dem Senkraum noch Schichtablagerung stattfand. das großartigste Beispiel. In den Ostalpen habe ich solche Grundgewölbe mehrfach gefunden, so z. B. auch in der Nähe von Innsbruck am Stanserjoch.

Zur Zeit der großen Überschiebungen und Abgleitungen waren in die südliche Hebungszone

schon tiefe Erosionsfurchen eingeschnitten, welche bei diesen ersten Fernüberschiebungen mit fremden Gesteinsmassen ausgestopft wurden.

Auch hierfür bietet das Stanserjoch wieder ein prächtiges Beispiel.

Nachdem wir in den Senkräumen unter den ersten Fernüberschiebungsmassen nur Schichten bis zum Zenoman begegnen, ist anzunehmen, daß dieselben bereits in vorgosauischer Zeit eingewandert sind.

Die erste Fernüberschiebung ist in den Ostalpen eine typische Reliefüberschiebung, das heißt eine Überschiebung, welche über ein bereits kräftig von der Erosion ausgeschnittenes Relief hinweg erfolgte. Ob für die Westalpen auch ähnliche Erscheinungen in Betracht zu ziehen sind, wage ich nicht zu behaupten.

Überschreiten wir nun diese Erhebungszone, welche zur Zeit der Überschiebung und Abgleitung wahrscheinlich wesentlich höher war, so finden wir tatsächlich eine Zone, welche ebenfalls entlang der ganzen Alpen hinzieht und ein Gebiet auffallenden Schichtausfalles darstellt.

Es ist indessen nicht möglich, diesen mächtigen Schichtausfall etwa allein auf Rechnung einer ausgedehnten Abgleitung zu setzen.

Die häufige Kombination einer Schwelle mit einem Senkraum und gefällsrichtiger Anhäufung von Schubmassen in letzterem sowie des Auftreten von lebhaften Walzfaltungen machen die mechanische Zusammengehörigkeit dieser Formengruppe sehr wahrscheinlich. Natürlich kommt die Gleitung nur für die Gefällstrecke nördlich der Schwelle in Frage. Aus deutlichen Gleit- und Walzstrukturen kann man auch dort auf ein zur Bildungszeit vorhandenes Gefälle schließen, wo es heute nicht mehr erhalten ist.

So können die Gleitstrukturen einen Einblick in längst verschwundene Gefällstrecken gestatten.

Durch die Ausstopfung mit Schubspänen sind uns außerdem teilweise uralte Hohlräume bis heute bewahrt verblieben.

Wie wir heute wissen, sind wenigstens in den Ostalpen auf diese erste gewaltige Massenwanderung in vorgosauischer Zeit für die Nordalpen zwar keine neuen Fernzuschüsse mehr erfolgt, wohl aber wurden die alten Schubmassen von der Erosion tief zerschnitten, die Lücken vielfach mit Gosauschichten ausgefüllt und das ganze Bauwerk neuerdings in Bewegung versetzt und enger und tiefer aufgeschuppt.

Auch damit war noch kein Ruhezustand erreicht, denn wir entdecken auch noch im Tertiär das Eingreifen weiterer Verschiebungen, und wahrscheinlich sind ja auch die Talverbiegungen im Diluvium noch auf Rechnung der Gebirgsbildung zu stellen.

In den Westalpen werden die großen Überfaltungen in eine wesentlich jüngere Zeit verlegt. Ob und in welchem Ausmaß auch dort ältere Gebirgsbewegungen vielleicht von den gigantischen jüngeren Bewegungen überdeckt worden sind, entzieht sich derzeit meiner persönlichen Einsicht. Das berühmte Dogma von der zeitlichen und mechanischen Einheitlichkeit des Alpenbaues dürfte wohl auch im Westen schon zerbröckeln. Im Osten hat es niemals Glauben gefunden. Wir haben aber nicht nur eine ganze Reihe von großen gebirgsbildenden Bewegungsphasen, welche teilweise durch lange Zeiten der Abtragung und Einsedimentierung voneinander getrennt sind, wir können auch keine einheitliche Bewegungsrichtung feststellen. Für die ersten Fernüberschiebungen und Abgleitungen ist in den Ostalpen eine Richtung von S gegen N sehr wahrscheinlich.

Die späteren Verschiebungen weichen aber von dieser Richtung teilweise erheblich ab.

Einerseits folgen sie offenbar dem Gebirgsstreichen, anderseits stellen sich schräg dazu Bewegungsstöße ein.

Vielfach scheint es dabei zu drehenden Bewegungen gekommen zu sein, wie solche erstmals von OGILVIE GORDON aus den Südtiroler Dolomiten beschrieben werden sind.

Wir sind mit der mechanischen Bauauflösung bis zur Konstatierung jener Fehlzone gekommen, welche sich im Süden der breiten Anhäufungszone hinzieht.

Es ist dies im Westen die Rhon-Rhein-Linie, im Osten die Grenze zwischen nördlichen Kalkalpen und Grauwackenzone.

Ob man diese Zone nun als Wurzelzone im Sinne des Nappismus oder als Verschluckungszone in meinem Sinne beschreibt, so ist damit jedenfalls eine bedeutungsvolle Lücke im Alpengefüge gegeben.

Das südwärts von dieser Zone liegende zentrale Gebirge, welches vorherrschend aus krystallinen Gesteinen besteht, zeigt eine andere Struktur und kann nicht einfach als eine Fortsetzung der nördlicheren Zone verstanden werden. Es ist aber auch gewiß nicht möglich, die nördliche Anhäufungszone nur als eine Abgleitungsdecke der Zentralalpen aufzufassen.

Die Zentralalpen bestehen zu großem Teil aus mächtigen Gneiß- und Granitmassiven.

Hier stehen sich im allgemeinen etwa 3 verschiedene mechanische Typen gegenüber, erstens steilgestellte, enggepreßte, alte Massive, von denen wir wissen, daß ihre Faltung schon in paläozoischer Zeit erfolgte, zweitens große Liegfalten, welche noch Trias, ja sogar noch Tertiär eingefaltet enthalten, drittens große, ebenfalls junge Durchbruchsmassen, wie das Bergeller- und Adamellomassiv.

Vom rein mechanischen Standpunkte aus können diese 3 Erscheinungsformen unschwer miteinander verbunden werden.

Die steilgepreßten, alten Massive stellen ein Ausgangsmaterial für die alpine Gebirgsbildung dar, das in großen Räumen zur Zeit dieser Gebirgsbildung umgeschmolzen und umkrystallisiert wurde.

Je nachdem nun das Schmelzgut zwischen ruhige Schichtmassen oder zwischen in Bewegung befindliche, überrollende Massen eingepreßt wurde,

kamen entweder große Eruptivlaibe oder liegende Walzfalten zustande. Es ist naheliegend, daß sich ein solches System von Gneißwalzfalten nur unter einer schweren, darüber gehenden Deckschubmasse ausbilden konnte.

Diese mechanische Forderung scheint sowohl im Gebiet der Simplonzone wie in den Tauern erfüllt zu sein.

Nach den früheren Ausführungen haben wir auch unter den alten steilgepreßten Gneißmassiven, wie z. B. Silvretta oder Ötztaler Masse, flache Schubbahnen zu erwarten. Diese alten Massive haben ihre Autochtonie schon in paläozoischer Zeit verloren. Seither sind diese alten Bewegungsbahnen jedenfalls noch öfter benutzt und umgestaltet worden.

Die Grenze der Zentralalpen gegen die südlichen Kalkalpen ist ebenfalls wieder eine tiefe Fuge im Alpenkörper, welche bereits durch EDUARD SUESS als dinarische Narbe beschrieben worden ist.

Auch hier gehen die Meinungen über die Mechanik dieser Baufuge weit auseinander.

Während E. SUESS in dieser Linie die Grenze zwischen Alpen und Dinariden sah und daher die Südalpen von den Alpen abtrennte und zu den Dinariden rechnete, haben SALOMON und KOSSMAT diese Linie als eine das Senkungsfeld der Adria umspannende Bruchzone dargestellt.

Für die Überfaltungslehre bedeutet dieselbe eine Hauptförderlinie, ja es wurde die Annahme ausgebaut, daß die Dinariden einst als gewaltige Deckschubmasse über die Alpen vorgedrungen seien und diese überwältigt hätten.

Die Struktur der Südalpen fügt sich jedoch nicht in dieses Bild. Sie bestehen ähnlich wie die Nordalpen aus mehreren Schubmassen, welche aber eine Hauptbewegungsrichtung gegen die Adria hin zeigen.

Es scheinen aber auch hier verschiedene Bewegungsrichtungen nacheinander betätigt worden zu sein.

Die bisherige Auflösung der südalpinen Schubmassen verdanken wir insbesondere OGILVIE GORDON, KOSSMAT, FOLGNER, KOBER, SCHWINNER und in letzter Zeit WINKLER.

Überschauen wir nocheinmal die Grundzüge dieser Gliederung der alpinen Mechanik, so erkennen wir 3 nebeneinanderliegende Zonen, von denen die zwei äußeren aus flach übereinanderliegenden Schubmassen bestehen, die später noch enger geschuppt und verfaltet wurden. Wir haben es ausschließlich mit oberflächennahen Strukturen zu tun.

Die krystalline Mittelzone ist komplizierter gebaut und zeigt vielfach Strukturen, wie sie nur unter schwerer Belastung in größerer Erdtiefe zustandekommen können.

Die einzelnen Zonen sind in ihrer Bauweise weitgehend unabhängig voneinander.

Sie gehören nicht als Fortsetzungen einfach zusammen, sondern werden durch tiefgreifende Fugen geschieden.

Die Bewegungsausmaße sind in jeder dieser Zonen auffallend groß und zielen scheinbar weit über den eigenen Zonenbereich hinaus. An Stellen besonders lebhafter Faltung läßt sich unschwer eine Fließbewegung vom Höheren zum Tieferen erkennen.

Wir verlassen nun diese im wesentlichen auf geologische Quer- und Längsprofile gestützte Betrachtung und versuchen noch kurz, eine mechanische Auflösung der mediterranen Faltengebirgsschlingen zu geben.

Die mediterranen Faltengebirgsschlingen lassen sich nach dem Vorbild von L. KOBER in zwei Stränge zerlegen, von denen der nördliche aus betischer Kordillere, Pyrenäen, Alpen, Karpathen, Balkan und Kaukasus besteht, während der südliche sich aus Atlas-Apennin-Dinariden-Helleniden-Tauriden-Iraniden zusammen schließen läßt.

Die Verbindungen zwischen diesen Gebirgsstücken sind größtenteils im Meer versenkt und also nicht unmittelbar prüfbar.

Immerhin haben die Zusammenschließungen einen ziemlichen Grad von Wahrscheinlichkeit.

Man kann nun diese mächtigen Verbiegungen der mediterranen Faltenstränge einfach als naturgegeben betrachten.

Man kann aber auch versuchen, diese hochkomplizierten Formen auf einfachere Ausgangsstrukturen zurückzuführen.

Einen solchen Versuch zur mechanischen Auflösung dieser Faltengebirgsschlingen habe ich vor einiger Zeit unternommen.

Er geht von der Annahme aus, daß ursprünglich zwei miteinander ungefähr parallele, ostwestlich verlaufende Faltenstränge vorhanden waren, welche durch ein andersgebautes Mittelfeld voneinander getrennt waren.

Im weiteren Verlauf der Entwicklung wurde nun dieses Zweistrangsystem zu den heutigen Schlingen verbogen.

Eine solche Verbiegung ist nur möglich, wenn gleichzeitig das Mittelfeld an bestimmten Stellen stark verengert, an anderen dafür stark verbreitert wird.

Diese Verengerungen und Verbreiterungen müssen miteinander in Verbindung stehen, ebenso wie die Verdünnung eines Faltenschenkels mit den zugehörigen Verdickungen an den Bugstellen.

Bei der Starrheit der oberflächennahen Gesteinsmassen kann ein solcher Massenausgleich nur in größerer Tiefe vor sich gehen. An der Oberfläche wirksam kann ein solcher Ausgleich dadurch werden, daß an den Verengerungsstellen Zusammenschiebungen, Einsaugungen und Einschmelzungen stattfinden, an den Verbreiterungsstellen dagegen Aufreißungen und Magmaeinfüllungen.

Der Ausgleich wird im allgemeinen kein vollständiger sein.

Daher ist es von vornherein wahrscheinlich, daß an den Verengerungsstellen hohe Gebirge, an den Verbreiterungsstellen dagegen Tiefländer oder Meeresbecken liegen, welche eine reiche Mitgift an Eruptivmassen besitzen.

Das Studium einer geologischen Karte der Mittelmeerländer bestätigt diese zunächst rein mechanische und geometrische Forderung. Innerhalb des Karpathenbogens liegt die tiefe Einsenkung des ungarischen Beckens mit ihrem reichen Eruptivkranz, innerhalb des noch größeren Bogens von Atlas und Apennin die Versenkungs- und Vulkanzone des Tyrrhenischen Meeres, innerhalb des Bogens von Helleniden—Tauriden die gewaltige Auflockerungs- und Eruptionszone des Ägäischen Meeres.

Wo sich anderseits die Faltenstränge nahe aneinander drängen, liegen die hohen Gebirge versammelt.

Das schönste und mannigfaltigste derselben sind unsere Alpen.

Es fragt sich nun, was diese mechanische Auflösung der mediterranen Faltengebirgsschlingen für die Mechanik der Alpen selbst bedeutet. Zunächst gibt dieselbe eine Erklärung für den Wechsel in der Bewegungsrichtung, da man ja die Faltengebirgsschlingen ohne einen solchen gar nicht herstellen kann.

Insbesonders müssen die Richtungen von S gegen N, dann schräg von SO gegen NW sowie endlich die Streichrichtung selbst bevorzugte Orientierungen für die Massenwanderungen sein.

Dies würde mit den Angaben der alpinen Innentektonik gut übereinstimmen.

Weiter liefert uns diese Mechanik einen unbedingt ausreichenden Raum, um auch die größten heute nachgewiesenen Überschiebungen und Überfaltungen richtig in das Baugefüge einordnen zu können.

Die gegenseitige Unabhängigkeit der drei Bauzonen wird bei dieser Auffassung der Baugeschichte leicht verständlich.

Dasselbe gilt von den scharfen Abgrenzungen und den Fehlzonen zwischen den 3 Bauzonen.

Mit der Beziehung der Faltenstränge zu dem von ihnen eingeschlossenen Mittelfeld sind aber die führenden mechanischen Nachbarschaften noch lange nicht erschöpft.

Es ist auch nicht möglich, die Faltenstränge samt ihrem Mittelfeld zu verbiegen, ohne die beiderseits anschließenden Außenfelder in Mitleidenschaft zu ziehen.

Es müssen daher auch die Verschiebungen des Außenfeldes mit denen der Faltenstränge und des Mittelfeldes gleichsinnig verlaufen. Hier stehen wir nun vor einer wichtigen Entscheidung.

Während für das tektonische Weltbild, wie es auf Grundlage der Kontraktionslehre von E. SUESS entworfen wurde, die Faltenstränge als weichere, gefaltete Zonen um die sog. starren, alten Massive herumgeschlungen sein sollen, würden nach meiner Deutung die Faltenstränge samt Innen- und Außenfelder bis zu einem gewissen Grade von denselben Bewegungen, und zwar von unten herauf, durchflutet sein.

Die Faltenstränge selbst aber liefern uns durch ihren weithin streichenden Zusammenhang gleichsam die Führungsbänder, um diese riesigen Bereiche von verschiedenartigen Bewegungen und Magma Vorgängen wenigstens einigermaßen in ihrem verborgenen Zusammenklang zu verstehen. Wenn der hier vorgezeichnete Zusammenhang zwischen den Faltengebirgen und ihrem benachbarten Umland in Wirklichkeit besteht, so müssen also gerade umgekehrt die alten Faltenstrukturen sich in der Nähe der kreuzenden jüngeren Faltenstränge denselben in gewissem Grade anschmiegen.

Sie müssen aber außerdem einen viel gestörteren Verlauf besitzen, nachdem sie schon mehrmals gezwungen wurden, ihre Baulinien benachbarten jüngeren Linien anzupassen.

Wenn sie diesen Ausführungen gefolgt sind, so werden sie die Überzeugung erhalten haben, daß die Auflösung der Mechanik der Alpen keine rein lokale Aufgabe der Alpenforschung mehr bedeutet, sondern zu einer kontinentalen Angelegenheit geworden ist.

Damit sind wir an jener Stelle angelangt, wo die Beziehungen zu der Hypothese von WEGENER über die Kontinentverschiebungen klarzulegen sind.

Seit 1911 hat WEGENER vor allem von geographischen Überlegungen ausgehend die gegenseitige Verschiebbarkeit und Verschiebung der Kontinente vertreten. Er hält dafür, daß die leichteren Kontinentschollen auf schwereren Massen, welche auch die Ozeanböden bilden, schwimmen und von äußeren Kräften angetrieben sich gegenseitig verschieben.

Von meinem Standpunkt der Unterströmungshypothese ist der Übergang zu der Hypothese von WEGENER unschwer zu vollziehen.

Ich brauche nur die Schollentrift von Unterströmungen statt von äußeren Kräften abhängig zu denken.

An Stelle eines Schwimmens, das ich für mechanisch unmöglich halte, muß ich an den Schollenstirnen Einschmelzungen und an den Rückseiten Magmaaufpressungen einschalten. Ohne mich hier in die Frage der großen Kontinentverschiebungen weiter einzulassen, möchte ich nur bemerken, daß die von mir hier vorgelegte mechanische Deutung der Faltengebirgsschlingen unbedingt für eine große gegenseitige Beweglichkeit der Erdschollen spricht und somit von rein tektonischer Seite her eine wesentliche Unterstützung der Vorstellungen von WEGENER bedeutet. Mit dem Hinweise auf diese großen, heute noch so gut wie unbearbeiteten mechanisch-tektonischen Arbeitsfelder möchte ich meine Vorlesung beschließen.

Ich habe den Wunsch, daß diejenigen, welche sich weiterhin mit der Erforschung des Alpenbaues beschäftigen, ähnliche oder tiefere Freuden erleben, wie sie mir diese Forschung bereitet hat, Freuden, die in ihrer Unberührtheit kostbar und in ihrer Entzückung unvergeßlich sind, und welche die einzige wahrhafte Belohnung für unabhängiges Denken auf dieser Erde bedeuten.

Die Naturdenkmäler Südtirols und ihre Erforschung durch deutsche Naturforscher.

Von R. v. KLEBELSBERG, Innsbruck.

Hohe Versammlung, meine Damen und Herren! Sie stehen hier an der Grenze eines Stückes deutscher Erde, das das schlimmste der Kriegsschicksale teilt: unter nationale Fremdherrschaft gekommen zu sein; das von diesem Geschicke um so schwerer getroffen wird, als es seit tausend Jahren geschlossenes deutsches Siedlungsgebiet ist. Es ist das südlichste Stück deutschen Landes, das einzige, wo unser Volkstum in größerem Ausmaße Anteil hat an der südlichen Alpenabdachung mit den Segnungen ihrer Sonne, mit ihrer Vegetation und Kultur.

Sie stehen an der Schwelle des Landes, dessen Name im Lande selbst behördlich verboten ist — dessen Name in aller Welt ringsum seit Jahrzehnten zum geflügelten Worte geworden ist: Südtirol.

Die allgemeine Berühmtheit des Landes gründet sich auf die Schönheit seiner Gegenden. Was aber eine Gegend schön macht, das sind, wie wir Naturforscher zu würdigen wissen und zu erkunden haben, nicht Zufälligkeiten, sondern Eigentümlichkeiten der naturgeschichtlichen Beschaffenheit und Entwicklung. Der landschaftliche Ruhm Südtirols beruht auf einem hohen Grade naturgeschichtlicher Sonderstellung. Seit den Anfängen der exakten regionalen Naturforschung ist Südtirol das Reiseziel Gelehrter aller Völker und selbst innerhalb des an sich schon so reichen, anspruchsvollen alpinen Rahmens hat sich das Land eine hervorragende Rolle für die Naturwissenschaft und ihre Geschichte bewahrt. Was aber liegt näher dann, als daß sich dem uralten Volsktum in diesem deutschen Anteil am sonnigen Süden mit der Sehnsucht auch die Gelehrsamkeit der Stammesbrüder im Norden verband und unbeschadet der Verdienste anderer es vor allem deutsche Naturforscher waren, die die Naturdenkmäler Südtirols erforschten.

(Ich fasse Südtirol streng in den Grenzen der Selbstbestimmung, nur soweit, als sich seine deutschen und die ihnen eng befreundeten ladinischen Bewohner zu Tirol bekennen und dieses Bekenntnis urkundlich niedergelegt haben in den rechtskräftigen Erklärungen sämtlicher Gemeinden in jenen kritischen Tagen, die dem Abschluß des Vertrages von. S. Germain vorausgegangen sind.)

Die naturgeschichtliche Sonderstellung Südtirols ist zur Hauptsache eine geologische. Seine günstigen klimatischen Verhältnisse teilt das Land mit anderen Gebieten der südlichen Alpenabdachung. In der Tier- und Pflanzenwelt machen sich zwar schon manche Eigentümlichkeiten geltend, doch sie beschränken sich auf das Aneinandergrenzen westlicher und östlicher Komponenten gerade in diesem Meridian der Alpen. In geologischer Beziehung hingegen greift die Sonderstellung tiefer. Da ist es nicht nur mehr ein Grenzverhältnis zwischen West und Ost, wie es etwa im Norden das Rheintal von Chur zum Bodensee charakterisiert, da sind es nicht nur besondere Ausprägungsformen allgemein alpiner Leitlinien, sondern es werden Elemente maßgebend, Gesteine und Strukturen, die sonst nirgends im Baue der Alpen eine ähnliche Rolle spielen. Auf engen Raum zusammengedrängt, bewirken sie eine Mannigfaltigkeit, wie man sie in ähnlich engen Grenzen überhaupt nicht so leicht wiederfinden wird.

Auch wenn wir von Naturdenkmälern sprechen, haben wir in erster Linie geologische Naturerscheinungen im Sinn. Das geschichtliche Moment und der Gesichtspunkt relativer Beständigkeit, den wir mit demDenkmalsbegriffe verbinden, sind dafür bestimmend.

Wie das antike Kunstdenkmal ein Wahrzeichen seiner Zeit ist, daneben aber auch die Erinnerung an den weckt, der es gefunden und gedeutet hat, so ist es bei den Naturdenkmälern. Einige wenige herausgegriffen aus der Menge der Umgebung vermögen uns das System des Ganzen zu weisen, führen uns Geschichtszüge einer fernen Vergangenheit vor Augen, Zeiten, Kräfte, Vorgänge, die jenseits der Vorstellungen des Alltags liegen, richten aber auch dankbares Gedenken auf die, die sie erforscht und verstehen gelehrt haben.

Als ein erstes Wahrzeichen der Naturschönheit Südtirols und seiner natürlichen Eigenart steht an der Westgrenze des Landes der *Ortler*. Aus dunklem Grunde, von Eisbrüchen umbrandet, wächst sein lichter Oberbau zum höchsten Gipfel Tirols und des alten Österreich empor. Schon rein orographisch hat der Berg was Besonderes an sich: auf kaum 4 km Horizontalabstand ragt er mehr als 2000 m hoch auf, ein Verhältnis, wie es in den vergletscherten Teilen der Ostalpen einzig dasteht und selbst in dem durch seine relativen Höhen berühmten Felsgebirge der Julischen Alpen nicht ganz wieder erreicht wird — es ist sozusagen ein Stück Westalpen im Bereiche der Ostalpen.

Weitere Eigentümlichkeiten bietet der Bau des Berges. Der dunkle Sockel ist sog. Urgebirge, krystalline Schiefer, die lichten Höhen, 1000 m und mehr, sind Kalke der Triasformation, die hier in ursprünglicher sedimentärer Überlagerung, nicht etwa nur aufgeschoben, auf dem Urgebirge liegen und anzeigen, daß dieses früher hier allgemeiner von jüngeren Meeresschichten bedeckt war. Nirgends in den ganzen Alpen reichen so junge Meeresschichten in solch geschlossener Masse in so große absolute Höhe auf. Wie zum Triumphe geologischen Geschehens kehren in der nördlichen Nachbarschaft über den Triaskalken die alten Schiefer des Urgebirges wieder — als Wahrzeichen einer jener großen Überschiebungen, die, wie Sie eben vorhin gehört, so hervorragende Bedeutung im Baue der Alpen haben. Nahe südlich formt der Ortlerkalk, schön gebogen und gefaltet, zusammen mit Firn und Eis die schönste, idealste Berggestalt der

Ostalpen: die *Königspitze*, von den Einheimischen kurzweg König genannt. Dann aber stoßt das junge Kalkgestein auch seitwärts an alten Schiefern ab — eine andere große Störungs- und Bewegungsfläche zieht hier von Südwesten nach Nordosten durch. Aus der Tiefe sind in den Triaskalk noch dunkle vulkanische Massen emporgedrungen und zum Gesteine erstarrt, dem Suldenit.

War es JULIUS PAYER, der die geographische und bergsteigerische Erforschung der Ortleralpen angebahnt hat, so folgte ihm schon in den siebziger Jahren der verdiente österreichische Staatsgeologe GUIDO STACHE mit der ersten geologischen Erforschung. In neuer Zeit hat WILHELM HAMMER, ein Meister auch in der Überwindung bergsteigerischer Schwierigkeiten, das Gebirge in vorbildlicher Genauigkeit geologisch kartiert, und zuletzt ist hier, im Kriegsjahre 1918, einer unserer Tüchtigsten das Opfer seines Forschungsdranges geworden, der Wiener Geologe ALBRECHT SPITZ.

Das Naturdenkmal des Ortlers wird aber erst vollendet durch die Gletscherwelt, die es umgibt. Eng verbunden mit dem schönsten der Ortlergletscher, dem Suldenferner, ist durch jahrzehntelange Forschertätigkeit der Name, den wir Deutsche stolz sind, überhaupt an der Spitze der Gletscherforscher zu wissen, SEBASTIAN FINSTERWALDER.

Nicht so berühmt, mehr im stillen Hintergrunde wissenschaftlichen Interesses gelegen, ist ein anderes Naturdenkmal Südtirols; es steht im Bilde vor Ihnen: der *Lodner* und die *Hohe Weiße* in der Texelgruppe bei Meran. Ein Wahrzeichen, das gerade für die neuere Erforschung der Ostalpen bedeutsam ist. Weithin leuchten die Firnkappen dieser Berge in die Ferne, bis ins grüne Rebengelände des Etschtals unter Bozen, mit dem Weiß des Firns aber wetteifert fast, in scharfem Gegensatz zum dunklen Schiefergebirge darunter, der weiße Marmorfels, der diese Gipfel aufbaut. Aus den Ortleralpen ziehen Schieferzonen übers Vintschgau an die Südseite der Ötztaler Alpen herüber; eine dieser Schieferzonen führt auf der Ortlerseite den berühmten Laaser Marmor. Hier auf der Höhe dieser Berge, ganz oben in den Gipfelfelsen, setzen ähnliche Marmorzüge ein, die sich nun in weitem Bogen nach Nordost verfolgen lassen bis in die Gegend von Sterzing — dort spricht man von Sterzinger Marmor — und dort eine Beziehung von den Zentralalpen westlich zu denen östlich der Brennersenke vermitteln, eine Verbindung, wenigstens der Gesteinsbeschaffenheit nach, von den Schieferzonen der Ortler- und Ötztaler Alpen zur Schieferhülle der Zillertaler Alpen und Hohen Tauern — Beziehungen, die heute in einem Brennpunkte der geologischen Ostalpenforschung stehen.

Ein Stück weiter östlich ragt im Hintergrunde des Sarntales das *Penser Weißhorn* auf. Kein Berg von sonderlicher Höhe oder bergsteigerischer Berühmtheit, doch das Wahrzeichen einer anderen wichtigen Zone im Baue Südtirols, der Gedenkstein tektonischer Vorgänge gewaltigster Art, die sich an der Linie dieses Berges vollzogen haben. Er kennzeichnet den Verlauf einer Narbe, die weit aus dem Süden, aus Judikarien, heraufzieht — von dort unter dem Namen Judikarienlinie bekannt — und eben hier in breitem Bogen nach Osten ins Pustertal umbiegt, das ihr im großen ganzen folgt. Es ist die geologische Südgrenze der Zentralalpen, an der die südalpine Gebirgsmasse an die Zentralalpen herangeschoben worden ist, wobei zwischen beiden gelegene Gebirgsteile eng zusammengepreßt und in der Tiefe überfahren worden sind. Gehen wir weiter nach Osten, ins obere Drautal bei Sillian, so weichen dort die vernarbten Stoßflächen gleichsam auseinander und zwischen ihnen taucht jenes Zwischengebirge auf in Form der Karnischen Alpen. Hier im Westen hingegen sind davon nur schmale eingeklemmte, aufgequetschte Fetzen zu sehen. Von einem solchen eingefalteten Kalkkeile hat auch das Weißhorn den Namen.

Wie die Marmorzüge im Streichen der Texelgruppe, so hat auch diese Leitlinie im Baue Südtirols frühzeitig die Aufmerksamkeit der Geologen nach sich gezogen, ich nenne nur ADOLF PICHLER, den Altmeister tirolischer Geologie, und den ausgezeichneten österreichischen Staatsgeologen FRIEDRICH TELLER; die maßgebende Erkenntnis in neuerer Zeit verdanken wir — ohne dem Verdienste PIERRE TERMIERS mit seinem kühnen Ideenschwunge Abtrag zu tun — BRUNO SANDER.

Wahrzeichen anderer Art, die an der Südalpengrenze stehen, führt Ihnen dieses Bild vor Augen. Wieder eine der schönsten Berggestalten in den Ostalpen, der *Hochgall* in der Rieserfernergruppe. Vom Eis und Firn abgesehen, besteht dieser stolze Gipfel aus granitischem Gestein, dem Tonalit der Rieserfernergruppe. Er ist das Glied einer langen Reihe ähnlicher Intrusivkerne, die in weitem Bogen das Südalpengebiet umsäumen, vom Adamello, von wo das Gestein den Namen Tonalit erhalten hat, über den Ifinger bei Meran und die Sachsenklemme nördlich Brixen hinüber bis in die kärntnerischen Berge. Zu verschiedenen Zeiten sind an dieser „periadriatischen Kontur" und innerhalb derselben granitische und diesen zuzuordnende Magmen emporgedrungen, im Adamello hat die Intrusion noch Schichten der Trias-, Jura- und selbst Kreideformation in Mitleidenschaft gezogen, an anderen Stellen ist das Vorhandensein des granitischen Gesteins schon für das spätere geologische Altertum nachweisbar.

An die Erforschung dieser Intrusivgesteine knüpft sich die Erinnerung an zahlreiche deutsche Naturforscher, ich hebe hervor ADOLF PICHLER, FRIEDRICH BECKE, FERDINAND LÖWL, WILHELM SALOMON, BRUNO SANDER.

Nun ein ganz anderes Bild, ein Bild so echt Südtirol: Bozen gegen die *Sarner Scharte*. Das ist das Wahrzeichen eines der charakteristischsten Bestandteile Südtirols, der großen Porphyrplatte. In ihr liegt die ganze Landschaft, die Sie vor sich sehen, von den schroffen Felsen der Haselburg

bis hinauf auf die sanften Höhen der Berge. Sie führt uns das älteste näher faßbare Ereignis der geologischen Geschichte Südtirols vor Augen: eine Zeit gewaltiger Eruptionen, in deren Folge sich eine Lavadecke über die andere breitete mit den zwischenhinein geschalteten Sedimenten begleitender Aschenregen. Es war im letzten Abschnitt des geologischen Altertums, in der Permperiode, bevor die mächtige Schichtserie der Dolomiten zum Absatz kam. Zu mehr als 1000 m Dicke wächst die ganze Folge der Porphyrgesteine. In sie sind die engen Schluchten der Täler geschnitten, der Kuntersweg, die Eggentaler Klamm, die Sarner Schlucht, Porphyraschen tragen die kleinen Streifen der Siedlung und Kultur, der rote Ton des Gesteins herrscht in der Landschaft und verleiht ihr den feinen rötlichen Duft, der mit dem Dunkel der Wälder, dem Grün der Büsche und Gärten in wirkungsvollem Gegensatze steht. Dem Pflanzenkleide von heute verbindet sich die Erinnerung an weit zurückliegende Vorfahren, deren Reste, älteste Zeugen organischen Lebens auf südtirolischem Boden, in den Porphyraschen eingebettet sind.

Groß ist die Zahl der Forscher, die der Südtiroler Porphyrplatte Aufmerksamkeit gewidmet haben; ich greife nur FERDINAND FREIHERRN VON RICHTHOFEN heraus, den Bahnbrecher auf so vielen Gebieten, und CARL WILHELM VON GÜMBEL, den Altmeister der bayrischen Geologie, von neueren Bearbeitern FERDINAND VON WOLFF.

Porphyrmaterial liefert in anderer Form noch eines der bekanntesten Naturdenkmäler Südtirols: die *Erdpyramiden des Ritten*. Doch nur das Material ist von Porphyr, der rötliche lehmige Schutt mit den großen eingestreuten Blöcken, die fallweise wie ein Dach daruntergelegene Schuttsäulen gegen Abtrag geschützt haben, so daß diese merkwürdigen Gebilde zustande gekommen sind. Im übrigen sind die Erdpyramiden ein Denkmal ganz anderer Ereignisse der geologischen Vergangenheit: der eiszeitlichen Vergletscherung. Es ist Moränenschutt, aufgeschürft und abgelagert von den Eiszeitgletschern, die in einer Mächtigkeit von 2000 m die Täler erfüllt hatten und durchs Etschtal bis hinaus an den Ausgang der Berner Klause und ans Südende des Gardasees gedrungen waren.

An ihre Erforschung knüpft sich die Erinnerung an zwei verdiente heimische Naturforscher, den Meraner Arzt BERNHARD GÖTSCH, der seiner Zeit voraus die Wurzeln des alten Etschgletschers bis ins Engadin zurück verfolgt hat, und den Bozner Gymnasialdirektor Pater VINCENZ GREDLER, der, ein naturwissenschaftlicher Polyhistor, auch die Geologie des Landes zum Gegenstande seiner Studien gemacht hat. An der Spitze der Eiszeitforschung aber steht auch für Südtirol der Name ALBRECHT PENCK.

Innerhalb des breiten Saumes der Schieferzonen im Norden bildet die Porphyrplatte den Sockel Südtirols. Über ihr baut sich im Südwesten das Etschbuchtgebirge auf. Sein Wahrzeichen auf südtirolischem Boden ist der *Gantkofel*, jener Eckstein des Mendelzuges, der von Meran wie Überetsch aus gesehen im Landschaftsbilde herrscht, zugleich die natürliche Grenze Deutschsüdtirols weisend. Unten der Vorsprung ist noch Porphyr, der steile Abbruch oben Dolomit der Triasformation. Er gemahnt an die Herrschaft des Meeres, die nach den Porphyreruptionen der Permzeit für den Großteil des ganzen geologischen Mittelalters folgte. Auf der anderen Seite dacht der Gantkofel zum Nonsberg ab, wo sich die marine Schichtfolge bis in die Jura-, Kreide- und selbst noch in die Tertiärformation hinauf fortsetzt, zum klaren Beweise dessen, wie sehr jung die letzten großen Bewegungen der Alpenfaltung sind.

Die Geologie des Etschbuchtgebirges ist untrennbar verbunden mit dem Namen RICHARD LEPSIUS, dessen Monographie aus den siebziger Jahren eine der grundlegenden Arbeiten zur Ostalpengeologie war und noch ist.

Auf der anderen Seite des Etschtales bauen sich über der Porphyrplatte die *Dolomiten* auf. Südtirol und die Dolomiten, das sind in unser aller Empfinden so eng verbundene Dinge, daß man beim einen immer auch schon an das andere denkt. Das sind Bilder, die jeder kennt, auch der sie nicht selbst in der Natur gesehen hat. Das ist die Gruppe von Naturdenkmälern, die uns die naturgeschichtliche Entwicklung des Landes dort weist, wo sie am eigenartigsten ist.

Auch hier ist den Porphyreruptionen der Permzeit das Meer der Triaszeit gefolgt und sind an seinem Grunde Sedimente mit marinen Versteinerungen zum Absatz gelangt. Hier aber herrschten die rein marinen Bedingungen nicht unumschränkt, neben ihnen trat neuerdings Vulkanismus in die Schranken. Und während an den einen Stellen riffbildende Meeresorganismen, Pflanzen und Tiere, ein üppiges Wachstum entfalteten, fanden an anderen ausgedehnte unterseeische Eruptionen statt. Auf engem Raume nebeneinander wuchsen einerseits die Riffe zu gewaltigen hellen Felsmassen an, breiteten sich andererseits dunkle Laven und Aschen aus, die schichtweise Unmengen mariner Lebewesen unter sich begruben. Und der Gegensatz der ursprünglichen Bildungen wurde in der Folge noch verschärft durch die Verschiedenheiten in der Tektonik und Verwitterung, Unterschiede in den Formen und der Vegetation — auf der einen Seite die hochragenden schroffen kahlen, je nach dem Lichte bleichen oder rot leuchtenden Kalkfelsen, auf der anderen die weichen welligen goldiggrünen Alpenmatten der Eruptivgesteine. Es sind die Gegensätze, die die Dolomitlandschaft so berühmt gemacht haben, Gegensätze, wie sie wirkungsvoller kaum gedacht werden können.

Früher als anderen Teilen der Alpen hat sich den Südtiroler Dolomiten die Aufmerksamkeit der Geologen aller Länder zugewandt. Italiener, Franzosen, Engländer sind gekommen, mit im Vordergrunde steht die schottische Geologie Mrs. MARIA OGILVIE-GORDON, die Führung aber liegt

seit einem Jahrhundert, seit LEOPOLD VON BUCH, seit dem Grafen MÜNSTER, HERMANN EMMRICH u.a. in deutschen Händen. Die Führer wahrsten Sinnes, bis heute, sind FERDINAND FREIHERR VON RICHTHOFEN, EDMUND VON MOJSISOVICS und RUDOLF HOERNES geworden — wo die Theorie zu üppige Blüten trieb, da wirkte wie Sauerteig die Kritik AUGUST ROTHPLETZ'.

Wie im Schulbeispiel folgen an den einen Stellen die Meeresschichten übereinander, immer jüngere über den älteren, von der Trias- bis hinauf in die Jura- und Kreideformation (Schlern, Peitlerkofel, Sellagruppe, Puez), an anderen Stellen hingegen liegen gleich alte Gesteine ganz verschieden ausgebildet in verschiedener Höhe nebeneinander, neben dem hohen Dolomitriff des Langkofels die weichen vulkanischen Gesteine der Seiser Alpe, neben der weitgedehnten sanften Landschaft des im Kriege berühmt gewordenen Col di Lana das gewaltige Massiv der Tofana. Aber auch schon die Riffkalkfelsen für sich allein bilden Denkmäler großartigsten Stils, die Türme von Vajolet — die Dreischusterspitze in Sexten — die Drei Zinnen, ein Bild, in dessen Anblick ich die Trauer nicht unterdrücken kann um einen vielversprechenden Schüler, der eben dieser Tage nach vorzüglich durchgeführter Untersuchung in einem anderen Teile der Dolomiten hier an der Kleinen Zinne den Bergsteigertod fand, — so werfen diese Naturdenkmäler auch Schatten in die Geschichte ihrer Erforschung.

Doch wenden wir uns zum Schlusse von diesen fast dräuenden Monumenten einem versöhnlicheren Bilde zu — Bozen gegen den Rosengarten —, in dem die Gegensätze der geologischen Vergangenheit, die Naturerscheinungen bis herauf zur Siedelung und Kultur zu schönster Harmonie verbunden sind, — so spricht ein bischen Harmonie aus diesem Bilde auch persönlich, selbst für die unmittelbare Gegenwart, zu uns deutschen Naturforschern, das ist die Anerkennung, die die neuen Herren des Landes der deutschen Naturforschung gezollt haben durch unveränderte Übernahme der Ergebnisse.

Wie Denkmäler überhaupt vermögen auch diese natürlichen nur Ausschnitte aus der Geschichte zu geben. Die wenigen Bilder aber mögen Ihnen schon gezeigt haben, wie reich an Naturschönheit und natürlicher Eigenart, an Denkmälern einer großen geologischen Vergangenheit, aber auch an Erinnerungen an hervorragende deutsche Naturforscher Südtirol ist.

War es im alten Staate eine auch politisch gegebene Selbstverständlichkeit, daß das Land in erster Linie von Deutschen erforscht wurde, so muß es nunmehr unsere Ehrenpflicht sein, im freien Wettbewerbe dafür zu sorgen, daß Südtirol auch in Zukunft Arbeitsstätte deutscher Naturforscher bleibe.

Die Idiosynkrasien.

Von R. DOERR, Basel.

Der Mechanismus der Idiosynkrasien galt bis zum Beginne unseres Jahrhunderts für ein Problem, an welches weder die Hypothese noch das Experiment mit Aussicht auf Erfolg herantreten konnten. Nirgends schien sich ein Angriffspunkt für die Methoden wissenschaftlicher Forschung zu bieten. Die Bemühungen der Autoren erschöpften sich in den verfehlten, weil verfrühten Bestreben, den an sich homogenen Komplex dieser merkwürdigen Zustände abnorm gesteigerter und qualitativ geänderter Reaktivität durch Einteilungen zu zerlegen, bei denen irgendein äußerliches und möglicherweise völlig nebensächliches Moment die Rolle des Klassifikationsprinzips übernahm. Man unterschied allgemeine und regionäre, ererbte und erworbene, humoral und cellulär bedingte Idiosynkrasien und ließ diese oft rein willkürlich angenommenen Hauptgruppen überdies noch in zahlreiche Typen zerfallen, indem man als differentialdiagnostische Kriterien die klinischen Bilder der idiosynkrasischen Reaktionen oder gar die Verschiedenheit der auslösenden Ursachen heranzog. Im scharfen Gegensatz zu der Sorgfalt, die auf solche Aufspaltungen verwendet wurde, begegnete die Notwendigkeit, die allen Idiosynkrasieformen *gemeinsamen* Eigenschaften zu fixieren, geringem Verständnis. In die Definition der Idiosynkrasie wurde nur der hyperergische Charakter der Reaktionen und der Umstand aufgenommen, daß die Anomalie selbst unter Berücksichtigung der gesamten Lebensdauer bloß bei einer Minderzahl der Menschen auftritt, daß also die idiosynkrasische Reaktivität an die Existenz einer besonderen Konstellation gebunden ist, *die anscheinend nur im Organismus einzelner Individuen zustande kommen kann.* Die letztgenannte Aussage besitzt insofern Bedeutung, als sie die idiosynkrasische Verfassung dem normalen Verhalten gegenüberstellt, Übergänge zwischen beiden nicht anerkennt und damit a priori von jedem Versuch abschrecken muß, die Idiosynkrasien auf biologische Gesetze von allgemeiner Gültigkeit zurückzuführen; sie stellt ferner die willkürliche Erzeugung dieser Zustände als eine Unmöglichkeit hin und schaltet so ein wichtiges Experiment am Menschen a limine aus. Daß Tiere idiosynkrasisch sein oder künstlich idiosynkrasisch gemacht werden können, war ein dem Denken dieser Epoche ganz fremder Gedanke; man war überzeugt, daß diese Form der Überempfindlichkeit ein ausschließliches Attribut der Menschenrasse sei und behauptete, daß sie bei hochkultivierten Völkern und sinkender Lebenskraft häufiger beobachtet werde (NAUMANN 1835, zit. nach WIEDEMANN). Arbeiten jüngsten Datums

zwingen uns, diese Vorstellungen in mehreren wesentlichen Punkten zu korrigieren; man muß aber zugeben, daß sie seinerzeit berechtigt waren und daß sie die fortschreitende Erkenntnis viel weniger hemmten als ein anderer Mangel der bis in die neuere Zeit üblichen Begriffsbestimmung der idiosynkrasischen Vorgänge. Man übersah, daß diese Prozesse durch *drei weitere, sehr charakteristische Merkmale* ausgezeichnet sind, *die sich auch ohne tieferen Einblick in das Wesen der idiosynkrasischen Reaktion aus der bloßen Beobachtung ableiten lassen;* es sind das *die hochgradig spezifische Einstellung der sogenannten monovalenten Idiosynkrasien auf bestimmte Substanzen, die Unabhängigkeit der ausgelösten klinischen Erscheinungen von der chemischen Konstitution und von der Art der Wirkung der auslösenden Stoffe auf nichtidiosynkrasische Menschen* und *die Gleichartigkeit dieser Erscheinungen untereinander.* Versetzen wir uns in die Zeit *vor* dem Jahre 1902 zurück, in welchem CH. RICHET seine erste Mitteilung über experimentell hervorgerufene Überempfindlichkeit publiziert hat, und suchen wir von den Ergebnissen späterer Forschungen abstrahierend nach einer Erklärung, welche diese auf den ersten Blick so widerspruchsvolle Kombination befriedigt, so bietet sich kein anderer Ausweg als folgende Annahme: Die idiosynkrasischen Störungen können nicht darauf beruhen, daß die auslösenden Substanzen als solche und unmittelbar auf bestimmte Gewebe einwirken; denn diese Primärwirkungen werden eben durch die chemische Zusammensetzung und die physikalische Beschaffenheit der Stoffe entscheidend beeinflußt und weichen, soweit sie uns genauer bekannt sind, von den Wirkungen auf den idiosynkrasischen Organismus ab und zwar nicht nur quantitativ im Sinne einer rein graduellen Veränderung des Effektes, sondern qualitativ, indem sie sich auf andere Organe erstrecken, einen anderen Charakter besitzen und einen differenten zeitlichen Ablauf zeigen. Die den idiosynkrasischen Krankheitserscheinungen zugrundeliegenden Zellreizungen lassen sich daher nur dann verstehen, *wenn man sie als sekundäre Folgen einer Reaktion auffaßt, an welcher sich außer dem auslösenden Stoff noch ein zweiter, zunächst unbekannter, im normalen Menschen nicht oder nicht in genügender Menge vorhandener Faktor beteiligt.* Diese beiden Reaktionskomponenten müssen aufeinander spezifisch abgestimmt sein. Die Tatsache endlich, daß die mannigfaltigsten Stoffe einen absolut identischen Symptomenkomplex auszulösen vermögen, streift ihr paradoxales Gepräge ab, wenn man die Ursache der sekundären Reizung und Schädigung der Zellen entweder in die Gleichartigkeit der entstehenden Reaktionsprodukte oder in die Identität des Reaktionsvorganges verlegt. Die Prämissen für diese Hypothese, die wir der Kürze halber als die Lehre von den *idiosynkrasischen Reaginen* bezeichnen wollen, waren — wie ich nochmals ausdrücklich hervorhebe — schon vor der Entdeckung und der experimentellen Analyse der anaphylaktischen Phänomene gegeben; daß man sie nicht erfaßt und in der gedachten Richtung verwertet hat, lag lediglich an der ungenügenden zusammenfasssenden Verarbeitung des überreichen kasuistischen Materials. Hätte man aber die eben skizzierten Schlußfolgerungen gezogen, so wäre automatisch das Bedürfnis aufgetaucht, sich nach analogen Reaktionen umzusehen, bei denen dieselbe Kombination eines von der Natur der Reaktionskomponenten unabhängigen, stets identischen Reaktionsgeschehens mit der Notwendigkeit gegenseitiger spezifischer Abstimmung bereits festgestellt war, und der Blick hätte sich unwillkürlich auf die Vitroreaktionen der Antigene mit ihren Antikörpern gelenkt. Die Überzeugung, daß hier engere Beziehungen bestehen müssen, hätte sich von selbst Bahn gebrochen und das anaphylaktische Experiment würde nur den noch ausstehenden Beweis geliefert haben, daß Reaktionen der genannten Art, wenn sie in vivo ablaufen, de facto Erscheinungen auslösen, die sich äußerlich unter dem Bilde einer gegen die Norm erhöhten Empfindlichkeit, einer Hypersensibilität, präsentieren.

Historisch haben sich die Dinge in umgekehrter Reihenfolge entwickelt. Der geschichtliche Werdegang einer Theorie ist eben nicht immer der einzig mögliche und auch nicht in allen Fällen der rationellste. Die Anaphylaxie trat zuerst auf den Plan und absorbierte alles Interesse. Man hat ihre Gesetzmäßigkeiten in sehr exakter und anscheinend auch vollständiger Art ermittelt und ist dabei zu folgenden Resultaten gelangt: Man kann bestimmte Tierspezies (Meerschweinchen, Kaninchen, Hund, Huhn usw.) durch parenterale Zufuhr gewisser Stoffe, die man Anaphylaktogene genannt hat, sensibilisieren, derart, daß sie auf erneute, nach Ablauf einer Inkubationsperiode ausgeführte Injektion der gleichen Substanz, die zur Vorbehandlung gewählt wurde, mit mehr oder minder schweren Symptomen reagieren. *Die Symptome sind bei derselben Tierart und unter sonst gleichen Versuchsbedingungen stets identisch, gleichgültig, welches der bekannten Anaphylaktogene zu dem Experiment benützt wird.* Der überempfindliche Zustand läßt sich mit dem Serum aktiv präparierter Tiere passiv auf Tiere gleicher oder anderer Art übertragen. Die typischen Anaphylaktogene schienen sämtlich zu den Eiweißantigenen d. h. zu jenen Stoffen zu gehören, deren immunisatorische Anwendung zur Entstehung von Agglutininen, Präcipitinen, Cytolysinen, komplementfixierenden Amboceptoren führt, also zur Entwicklung jener Wirkungsarten des Blutserums, die wir auf das Vorhandensein „freier Antikörper" beziehen. Alle diese Tatsachen gestatteten in ihrem Zusammenhalt den weitgehend gesicherten Schluß, daß der primäre, die anaphylaktischen Erscheinungen auslösende Vorgang eine spezifische Antigen-Antikörper-Reaktion ist. In diesen Sätzen sind sämtliche positiven, für unsere Betrachtung relevanten Ergebnisse der Anaphylaxieforschung enthalten.

Was über ihren Inhalt hinausgeht, bildet derzeit noch den Gegenstand lebhafter Diskussion und kann daher für prinzipielle Entscheidungen über die Beziehungen zwischen Idiosynkrasie und Anaphylaxie nicht maßgebend sein. *Wir kennen somit, genau genommen, nur zwei Versuchsordnungen und eine auf ihren Ausfall basierte Behauptung.*

Prüfen wir zunächst die Behauptung, daß das anaphylaktische Syndrom durch eine Reaktion zwischen Antigen und zugehörigem Antikörper eingeleitet wird, so schrumpft ihre Bedeutung ein, wenn wir uns vergegenwärtigen, daß wir über die Natur dieses Antikörpers nicht zuverlässig unterrichtet sind. Ich habe mich allerdings bemüht, den Wahrscheinlichkeitsbeweis zu erbringen, daß die anaphylaktischen Antikörper mit den Präcipitinen identisch seien und daß ihre Reaktionen mit den korrespondierenden Anaphylaktogenen im Reagensglas mit einer Ausflockung des Reaktionsproduktes einhergehen. Die zuerst von FRIEDBERGER vertretene, später von ihm verlassene Auffassung, die Anaphylaxie könnte letzten Endes auf einer „Präcipitation in vivo" beruhen, wurde durch meine Untersuchungen gestützt und fand in der Folge zahlreiche Anhänger; sie ist auch heute m. E. noch nicht definitiv abgetan, aber die Arbeiten von LONGCOPE und namentlich die elektroosmotische Abtrennung des Präcipitins vom anaphylaktischen Antikörper aus einem Immunserum mit beiden Wirkungsqualitäten (OTTO und SHIRAKAWA) müssen begründete Zweifel an ihrer Richtigkeit erwecken. Wenn jedoch der anaphylaktische Antikörper mit dem Präcipitin nicht wesensgleich sein sollte, dann verfügen wir eben über keine Vitroreaktion, um ihn nachzuweisen, *und die Möglichkeiten, sein Vorhandensein im lebenden Organismus oder in einem vorgelegten Serum festzustellen, reduzieren sich auf das aktiv und passiv anaphylaktische Experiment.* Natürlich fehlt dann auch jeder Anhaltspunkt für bestimmte Aussagen über die Beschaffenheit dieses Antikörpers und über die Art seiner Reaktion mit dem zugehörigen Antigen, in der wir — wie bereits ausgeführt wurde — das zellschädigende Agens zu suchen haben.

Wie leicht einzusehen, befinden wir uns in derselben Situation, wenn wir über das Verhältnis der Idiosynkrasie zur Anaphylaxie Klarheit schaffen wollen. Auch hier stehen uns keine anderen Hilfsmittel zu Gebote als Versuche, mit den in Betracht kommenden, die idiosynkrasischen Symptome auslösenden Stoffen eine aktive, von der normalen Empfindlichkeit auch qualitativ differierende Hypersensibilität zu erzeugen und die idiosynkrasische Überempfindlichkeit passiv mit dem Serum zu übertragen. Bekanntlich wurden solche Experimente in großer Zahl ausgeführt und haben — wenn man von den Arbeiten der letzten Jahre absieht — ein sehr unbefriedigendes Resultat geliefert. Die Ursache dieses Mißerfolges lag jedoch zum Teile in der durchaus unzweckmäßigen Wahl der Versuchsbedingungen, die den Substanzen, deren spezifisch sensibilisierende Wirkung in Frage stand, in keiner Weise angepaßt war. Darauf näher einzugehen, scheint mir für das Verständnis meiner Ausführungen unbedingt notwendig. Für anaphylaktische Versuchsanordnungen benützt man in der Regel Vollsera, Eiereiweiß oder andere Proteine, präpariert mit kleinen Mengen subcutan, und zwar nur durch eine einmalige Injektion und reinjiziert nach einem bestimmten, relativ kurzen Intervall intravenös; das Kriterium eines positiven Resultates bilden akute, womöglich letal endigende Schocksymptome. Dieses Schema hat man nun ganz allgemein auf alle anderen Substanzen angewendet. Ich habe aber mit BERGER gezeigt, daß sich die Anaphylaktogene voneinander durch ihre *Aktivität* unterscheiden und daß ein Albumin aus Pferdeserum weit schwächer und (wie auch DALE und HARTLEY konstatiert haben) erst nach längerer Inkubation sensibilisiert als ein Euglobulin derselben Provenienz und daß man selbst bei gleich maximaler Ausbildung des hypersensiblen Zustandes von dem erstgenannten Eiweißkörper weit größere Mengen benötigt, um beim Meerschweinchen durch intravenöse Injektion einen akut letalen Schock zu bewirken. Sehr lehrreich sind auch die Erfahrungen, die man bei anaphylaktischen Experimenten mit Erythrocyten gemacht hat. Einmalige Einspritzungen selbst größerer Quantitäten präparieren so gut wie nie und man wollte daher die Existenz einer echten Blutkörperchenanaphylaxie überhaupt anzweifeln. Sensibilisiert man dagegen in drei Etappen mit 5tägigen Intervallen, so kommt man ohne weiteres zum Ziele, und die resultierende Hypersensibilität erreicht einen so hohen Grad, daß die endovenöse Injektion von 2—3 Millionen roter Blutzellen den akuten Schocktod nach sich zieht (MOLDOVAN, ZOLOG und TIRICA, G. FISCHER, FRIEDLI und HOMMA). Albumine und Erythrocyteneiweiß (vermutlich ist hier das Hb der wirksame Bestandteil) repräsentieren aber keineswegs die unterste Grenze der anaphylaktogenen Wirkungsintensität; es sind niedrigere Stufen dieser Eigenschaft beim Bakterien- und Polleneiweiß bekannt. Speziell die Pollenanaphylaxie ist bemerkenswert, weil sie das Schicksal der Erythrocytenanaphylaxie geteilt hat; noch bis in die letzte Zeit bestritten, wird sie heute auf Grund positiver Ergebnisse wieder anerkannt (ALEXANDER). Die Reihe läßt sich zweifellos noch weiter in absteigender Richtung fortsetzen, *wenn man nicht unter allen Umständen einen akut letalen Schock erzwingen will.* Der Schock, speziell in der beim Meerschweinchen auftretenden Form, ist zwar ein bequem zu registrierender und sehr verläßlicher Indikator des anaphylaktischen Reaktionsgeschehens; er stellt aber, was man immer wieder vergißt, einen *Maximaleffekt* dar und ist an einen höheren Dispersitätsgrad der zu seiner Auslösung verwendeten wäßrigen Anaphylaktogensolution gebunden. Es gibt andere, allgemeiner anwendbare und in manchen Fällen empfindlichere Methoden, durch welche das Vorhandensein einer aktiven, experimentell erzeugten Hyper-

sensibilität gegen Eiweißkörper bewiesen werden kann; ich erinnere nur an die Prüfung der cutanen Sensibilität und an das DALEsche Verfahren. Die Leistungsfähigkeit des letzteren wird u. a. durch eine in mehrfacher Hinsucht sehr interessante Angabe von WALZER und GROVE illustriert. WALZER und GROVE präparierten weibliche Meerschweinchen durch wäßrige Extrakte der Pollen von Timotheegras oder Traubenkraut. Die Tiere reagierten zwar auf die intravenöse Reinjektion dieser Extrakte nicht mit Schocksymptomen, aber die Uterushörner erwiesen sich bei der DALEschen Versuchsanordnung als hypersensibel und zwar in streng spezifischer Weise, in dem nur der Kontakt mit der zur Sensibilisierung benützten Polleneiweißlösung wirksam war. Ganz ähnliche Resultate lieferte ein Leimpräparat. Daß diese spezifisch auslösbaren Uteruskontraktionen auf einer Antigen-Antikörper-Reaktion beruhen müssen, geben WALZER und GROVE ohne weiteres zu; sie bezweifeln aber, ob man ihnen einen anaphylaktischen Charakter im engeren Wortsinne zuschreiben darf, was um so weniger gerechtfertigt ist, als — wie schon erwähnt — ALEXANDER eine echte Anaphylaxie gegen Pollen mit allen typischen Merkmalen (passive Übertragbarkeit, akuter Schocktod, Möglichkeit der Desensibilisierung) zu erzielen vermochte. Die Versuche von WALZER und GROVE lehren aufs neue, daß das anaphylaktogene Vermögen in seinen zwei Manifestationen, der sensibilisierenden und der auslösenden Wirkung, im Bereiche der Proteine keine konstante, sondern eine sehr variable Größe ist und daß geringere Grade desselben übersehen werden können, wenn man sich zu ihrem Nachweis der für hochaktive Stoffe geeigneten und ausreichenden Methoden bedient. Man wird sich also in Zukunft bei der Behauptung, daß gerade die wichtigsten Eiweißkörper, auf welche zahlreiche idiosynkrasische Menschen abgestimmt sind, im aktiv anaphylaktischen Experiment versagen, doch etwas mehr Reserve auferlegen müssen. Für die Pflanzenpollen ist sie nicht richtig, und daß die Hautschuppen der Tiere spezifisch sensibilisieren und akuten Schock auslösen, haben erst kürzlich BUSSON und OGATA, deren Mitteilungen uns noch in einem anderen Zusammenhange beschäftigen werden, bewiesen. Von diesen Gesichtspunkten aus sind m. E. auch die Befunde von STORM VAN LEEUWEN und seinen Mitarbeitern zu beurteilen, welche an ältere und für das ganze Idiosynkrasieproblem sehr wichtige Beobachtungen von ANCONA anknüpfen. ANCONA hat nämlich in Italien Fälle von Asthma und Hautausschlägen beobachtet, welche sich infolge der Beschäftigung mit verdorbenem, durch eine Tinea-Art (Pediculoides ventricosus) verunreinigtem Getreide entwickelten; er konnte zeigen, daß sich diese Überempfindlichkeit nicht gegen das Pfanzeneiweiß, sondern gegen die Stoffe kehrt, welche von diesem Schmarotzer geliefert werden, und fand außerdem, daß nahezu jeder Mensch, der längere Zeit mit solchem Getreide zu tun hatte, Asthma und Urticaria bekam, daß also die Spezies Mensch durch die fragliche Substanz ganz gesetzmäßig, genau wie das Meerschweinchen durch subcutane Injektionen von Pferdeserum, sensibilisiert wird, STORM VAN LEEUWEN bestätigte diese Verhältnisse für Holland, nur daß hier die Produktion der asthmogenen Stoffe von anderen Getreideschmarotzern, nämlich von Milben (Aleurobius farinae, Glycyphagus spinipes), auszugehen schien. *Mit Proben von milbenhaltigem und für Menschen asthmogenem Hafer wurden nun Tierversuche angestellt.* Durch intermittierenden Kontakt mit derartigem Material wurden Meerschweinchen und Kaninchen überempfindlich, so daß sie schließlich auf erneute Berührungen mit heftigen, durch Juckreiz verursachten Kratzbewegungen, Niesen, Tränen der Augen und hochgradiger, in Paroxysmen auftretender Dyspnöe reagierten, also mit Symptomen, von denen STORM VAN LEEUWEN selbst bemerkt, daß sie den Erscheinungen glichen, die man bei aktiv anaphylaktischen Experimenten erhält, wenn man eine für die Auslösung eines akuten Schocks ungenügende Dosis Eiweißantigen reinjiziert. Die sensibilisierende ebenso wie die auslösende Zufuhr des allergenen Stoffes erfolgte in den geschilderten Versuchen offenbar durch Inhalation; das Allergen kam also in demjenigen Organ, in der Lunge, zur primären Auswirkung, dessen Reaktion dem hervorstechendsten Symptom, dem experimentell hervorgerufenen Asthma-Anfall, zugrunde lag. Wer in der Phänomenologie anaphylaktischer Erscheinungen bewandert ist, wird sich mit BUSSON sofort sagen müssen, daß es sich bei dieser Versuchsanordnung um ein Pendant der bekannten, von M. ARTHUS zuerst beschriebenen, in neuerer Zeit von GERLACH und OPIE studierten umschriebenen Hauterkrankungen handelt, wie sie bei spezifisch hypersensiblen Kaninchen am Orte der subcutanen Injektion typischer Anaphylaktogene auftreten. Das durch Inhalation von Eiweißantigenen bei sensibilisierten Menschen oder Tieren auslösbare Asthma läßt sich somit als eine *lokale Anaphylaxie der Bronchialschleimhaut* oder, um einen von RÖSSLE geprägten Ausdruck zu gebrauchen, als eine allergische Entzündung dieser Membran definieren; die Stenosierung der Bronchiolen wird hier wahrscheinlich nicht durch spastische Kontraktion der glatten Bronchialmuskulatur, sondern ausschließlich oder vorwiegend durch ein rasch eintretendes Ödem der Mucosa und Submucosa erzeugt. Wie groß die Antigenmengen sind, die durch das Einatmen des Getreidestaubes oder anderer asthmogenen Staubarten in die Lungen gelangen, wurde noch nicht bestimmt; selbst wenn sie sehr gering sein sollten, wäre die Intensität ihrer Wirkung verständlich, da wir uns vorstellen müssen, daß die feinen Partikel tief in die Bronchialverzweigungen eindringen, dort liegenbleiben und den allergenen Stoff durch längere Zeit in Lösung treten lassen, der dann infolge der hohen Permeabilität der Respirationsschleimhaut sofort mit zellständigem oder (nach OPIE) auch mit zirku-

lierendem Antikörper abreagiert. *Es ist daher auch nicht weiter merkwürdig, daß sich die Resultate ändern, wenn man die Inhalation des asthmogenen Staubes durch die sonst beim anaphylaktischen Experiment übliche Injektion wäßriger aus demselben Material hergestellter Extrakte substituiert.* STOR VAN LEEUWEN, BIEN und VAREKAMP haben solche Experimente ausgeführt, auf die ich hier im Detail nicht eingehen kann. Ich hebe nur hervor, daß es den genannten Autoren nicht gelang, durch intraperitoneale Präparierung und intravenöse Reinjektion der Extrakte aus milbenhaltigem Hafer beim Meerschweinchen Schockerscheinungen hervorzurufen. Diese Versuche sind indes keineswegs abgeschlossen und es ist sehr wahrscheinlich, daß man durch entsprechende Modifikation der Bedingungen (wiederholte Sensibilisierung, intratracheale Reinjektion, Prüfung der Hypersensibilität am isolierten Uterus oder an der durchströmten Lunge, Verwendung reinerer und konzentrierterer Antigenpräparate) doch noch das erwünschte positive Ergebnis erzielt. *Keinesfalls liegt aber ein zwingender Anlaß vor, das experimentelle Milbenasthma des Meerschweinchens als etwas anderes aufzufassen als eine spezielle Form des aktiv anaphylaktischen Experiments.* Ist es doch BUSSON und OGATA gelungen, Meerschweinchen durch Inhalation von Extrakten aus einem anderen asthmogenen Material, nämlich Pferdehautschuppen, nicht nur zu sensibilisieren, sondern durch erneute Einatmung des versprayten Präparates akut schockartig zu töten; bei der Autopsie wurden eine maximale Lungenblähung und Hämorrhagien im Lungenparenchym konstatiert. Hier fehlt somit nicht einmal der von STORM VAN LEEUWEN vermißte, aber wie ich auseinandersetzte, für Schlußfolgerungen nicht unbedingt erforderliche Maximaleffekt.

Man kann sich der Beweiskraft dieser Tatsachen nicht verschließen. *Für viele von den Eiweißverbindungen, die bei den Idiosynkrasien eine bedeutende Rolle spielen, ist heute die anaphylaktogene Funktion gesichert,* und wo noch Lücken bestehen, werden sie sich bei kritischerem Vorgehen ausfüllen lassen, besonders wenn man außer den genannten noch zwei andere Momente berücksichtigt. Die Antigenfunktion ist eine Relativität, eine Wechselbeziehung zwischen dem wirksamen Stoff und dem bewirkten Organismus; es ist daher durchaus nicht ausgeschlossen, daß sich der Mensch gegen eine bestimmte Substanz anders verhält als unsere Versuchstiere. Von der ausgedehnten Anwendung des Menschenexperimentes darf man sich daher Aufschlüsse versprechen; die Untersuchungen von JADASSOHN und BLOCH über die Pathogenese der idiosynkrasischen Ekzeme legen Zeugnis ab, was auf diesem Wege noch zu erreichen ist. Der zweite Faktor ist *die für die Sensibilisierung notwendige Zeit.* Viele Umstimmungen des Zellebens vollziehen sich nicht plötzlich nach einmaliger Einwirkung eines Impulses, sondern kommen langsam und auf Grund iterativer Reizung, oft auch nicht innerhalb einer einzigen, sondern erst in mehreren aufeinanderfolgenden Zellgenerationen zustande. Der von MIESCHER entdeckte Rhythmus der Röntgenerytheme, die experimentelle Erzeugung der Teercarcinome, das TWORT-D'HERELLEsche Phänomen, das von SCHNABEL als eine Überempfindlichkeit monocellulärer Organismen gedeutet wird, sind Beispiele für diese Bedeutung des Zeitfaktors. Auch für die Antigenreize trifft die Vorstellung, welche der von EHRLICH geprägte Ausdruck „Ictus immunisatorius" erwecken könnte, nicht in allen Fällen zu, und die Idiosynkrasien gegen antigene Eiweißstoffe, die oft erst nach monate- oder jahrelangen Einwirkungen auftreten, geben uns in dieser Richtung einen beachtenswerten Fingerzeig.

Das *passiv anaphylaktische Experiment* hat in der Idiosynkrasieforschung eine besondere, durch die ganze Fragestellung indizierte Gestalt angenommen. Man hat sich nicht viel damit abgegeben, passiv präparierende Antisera auf künstlichem Wege herzustellen; es war viel einfacher und aussichtsreicher, das Blutserum idiosynkrasischer Menschen direkt auf seinen Gehalt an anaphylaktischen Antikörpern zu untersuchen. Das Serum wurde in Anbetracht der Latenzperiode der passiven Anaphylaxie präventiv, meist 24—48 Stunden vor der Zufuhr des die betreffende Idiosynkrasie auslösenden Stoffes injiziert, und die Reaktion zwischen beiden ließ man entweder in normalen Menschen oder in normalen Tieren, vornehmlich in Meerschweinchen, ablaufen. Als klinische Indicatoren des Reaktionsgeschehens dienten entweder lokale anaphylaktische Veränderungen in Form der Cutanreaktionen oder schockartige Allgemeinsymptome. Derartige Versuche sind nun schon in einer ganzen Reihe von Fällen positiv ausgefallen. Zu den älteren Angaben von BRUCK, KAWASAKI, FINIZIO kommen noch neuere Mitteilungen von SCHLOSS, SCHLUTZ und LARSON, RAMIREZ, DE BESCHE, PRAUSNITZ und KÜSTNER, COCA und GROVE, BIBERSTEIN, BIBERSTEIN und JADASSOHN, so daß die Akten über die *Möglichkeit* der passiven Übertragung idiosynkrasischer Hypersensibilitäten wohl geschlossen werden dürfen. Mehr als diese Möglichkeit kann man aber nicht verlangen. Auch bei der typischen, allen Diskussionen zugrunde gelegten Anaphylaxie des klassischen Versuchstieres, des Meerschweinchens, liegt die Sache keineswegs so, daß das Serum jedes aktiv überempfindlichen Tieres Antikörper enthält; es existieren initiale und namentlich auch terminale Perioden echter aktiv anaphylaktischer Zustände, in denen das Serum mit den uns zur Disposition stehenden Methoden als antikörperfrei befunden wird und diese Tatsache bildet bekanntlich ein wichtiges Argument *für die Zellbeständigkeit der anaphylaktischen Antigen - Antikörper - Reaktion.* Sind aber die Produktion der Antikörper an ihren Bildungsstätten, nach neueren Untersuchungen in den Zellen des reticulo-endothelialen Apparates, und die Abstoßung der Antikörper ins Blutplasma zwei *zunächst nur zeitlich abtrennbare* Phasen

desselben Prozesses, dann kann man wohl noch einen Schritt weitergehen und sich fragen, ob der zweite Akt stets eine notwendige Konsequenz des ersten darstellt, mit anderen Worten: ob es nicht Allergene gibt, welche bei bestimmten Tierspezies nur die Entstehung zellständiger, nicht ins Blut übertretendcr Reaktionskörper bewirken. Einige Beobachtungen, die ich bei der Prüfung der Albumine gemacht hatte, bewogen mich, nach dieser Eigenschaft bei Proteinen zu fahnden, die in die Gruppe der Anaphylaktogene mit geringer Aktivität gehören, und ich hatte insofern einen Erfolg zu verzeichnen, als es mir bisher nie glückte, eine auch noch so hochgradige Überempfindlichkeit von Meerschweinchen gegen artfremde Erythrocyten homolog passiv zu übertragen. Ich konnte diesen Gedanken nicht weiter verfolgen, halte mich aber für berechtigt, folgenden Standpunkt einzunehmen: Wenn man auf eine idiosynkrasische Hypersensibilität gegen einen bestimmten Stoff stoßen sollte, bei welcher das homolog passive Experiment ausnahmslos mißlingt, so liegt vorläufig kein Grund vor, den anaphylaktischen Charakter der Störungen bzw. eine Reaktion zwischen dem auslösenden Agens und einem im idiosynkrasischen Organismus vorhandenen Reaktionskörper zu leugnen.

Soviel über die Anwendung und Interpretation der anaphylaktischen Versuchsanordnungen in der Idiosynkrasieforschung. Die Verwertbarkeit der erzielten positiven Ergebnisse wurde jedoch durch COCA in Frage gestellt, welcher 1920 behauptete, daß der Mensch selbst durch die typischen, beim Tiere wirksamen Anaphylaktogene z. B. Pferdeserum oder Ovalbumin *nicht* sensibilisiert werden kann, sondern daß bei ihm jeder Fall einer spezifischen, gegen *Eiweißkörper* gerichteten Hypersensibilität auf einer angeborenen Anlage beruht. Die Anaphylaxie soll dagegen nach der herrschenden Lehre nur erworben werden, erworben durch die infolge eines Antigenreizes einsetzende Antikörperproduktion; eine echte germinative Vererbung des Zustandes sei unmöglich. Abgesehen davon, daß letztere Behauptung auf sehr schwachen Füßen steht (die betreffenden Versuche erinnern in mancher Beziehung an die alten Experimente über die Vererbbarkeit von willkürlichen Verstümmelungen) und daß die Heredität der Idiosynkrasien ein noch kaum erschlossenes Gebiet darstellt (MC. ILVAINE PHILIPPS und BARROWS, BUCHANAN), würde auch eine scharfe Sonderung der individuellen Hyperergien in solche phylogenetischen und ontogenetischen Ursprunges an sich nicht dazu zwingen, für beide einen wesensverschiedenen Mechanismus zu postulieren. Die Anaphylaxie wird als Antigen-Antikörper-Reaktion definiert und wir kennen ja auch normale, als Artmerkmale auftretende Serumantikörper, die hinsichtlich ihrer Wirkungsstärke von Individuum zu Individuum variieren; es unterliegt keinem Zweifel, daß diesen freien Antikörpern zellständige von gleicher spezifischer Einstellung entsprechen müssen. Schieben wir indes diese Erwägungen beiseite und prüfen wir zunächst, inwiefern COCAS Ansicht mit den Tatsachen harmoniert, so finden wir in der Literatur eine kaum noch zu sichtende Zahl von Angaben, denen zufolge Menschen nach der ersten, eventuell auch noch nach der zweiten Injektion der verschiedensten Proteine keine krankhaften Erscheinungen darboten, während eine erneute Zufuhr des gleichen Stoffes schwere, schockartige, zuweilen das Leben bedrohende Symptome auslöste. Mehr als das, Experimente von KÖHLER und STEINMANN, sowie Beobachtungen, welche HOOKER und PARK in Amerika anläßlich der aktiven Schutzimpfung gegen Diphtherie durch Injektion von Toxin-Antitoxin-Gemischen anstellen konnten, haben gezeigt, daß schon 0,01—0,0001 g Pferdeserum oder Kaninchenserum genügt, um bei einem erheblichen Prozentsatz der Impflinge die ursprünglich negative in eine positive Cutanreaktion gegen Pferdeeiweiß zu verwandeln. PARK konstatierte überdies, daß eine Steigerung der Serum- oder Globulindosis auf 0,5 ccm die Zahl der positiv werdenden Cutanreaktionen noch weiter erhöht und daß ihre Intensität bei der stärkeren Vorbehandlung deutlich zunimmt. Dazu kommt schließlich noch, daß im Blute von Menschen, denen hinreichende Mengen von Pferdeserum eingespritzt werden, nicht nur Präcipitine, sondern *auch anaphylaktische, im Meerschweinchenversuch nachweisbare, vorher nicht vorhandene Antikörper* entstehen. Die Entstehung anaphylaktischer Zustände mit allen Attributen, die man ihnen in einseitiger Bewertung des Tierexperimentes zuerkannt hat, ist somit beim Menschen geradeso möglich wie beim Kaninchen oder einer anderen anaphylaktisch reagierenden Tierart. Es ist aber auch nicht richtig, daß *Tiere* nur dann gegen Eiweißantigene spezifisch hypersensibel sind, wenn man sie zuvor durch parenterale Injektionen künstlich präpariert hat; wie BARTELS, KRUDELKA, KOWARZIK und namentlich GERLACH berichteten, kann man bei einzelnen Pferden, Rindern und Schweinen schon durch eine erstmalige Einspritzung artfremden Serums allergische, durch intravenöse Zufuhr sogar schockartige Symptome provozieren. Gehört es, wie COCA und mit ihm viele Autoren meinen, zu den begriffsbestimmenden Merkmalen der Idiosynkrasie, daß sie bei einigen Individuen einer Spezies schon beim ersten Kontakt mit der auslösenden Substanz manifest wird, dann muß man die Existenz tierischer Idiosynkrasien als bewiesen betrachten, eine Konsequenz, die BUSSON und OGATA tatsächlich gezogen haben.

Da man auf *die hyperergische Reaktivität gegenüber erstmaligen Einwirkungen* allseits so großes Gewicht legt, scheint mir eine kurze Besprechung dieser Erscheinung am Platze zu sein. Es wurde schon wiederholt betont, daß solche Formen der Überempfindlichkeit nicht notwendig angeboren resp. ererbt sein müssen, *sondern daß sie — wenigstens zum Teil — auch erworben sein können.* Die Möglichkeit einer unabsichtlichen enteralen Sensibilisierung ist zu bekannt, um dar-

über noch ein Wort zu verlieren; es wäre höchstens zu erwähnen, daß die koagulablen Proteine nach neueren Untersuchungen von H. ZINSSER selbst durch energisches Kochen bei gleichzeitiger Ansäuerung ihre Antigenfunktion nicht völlig einbüßen, sondern Reste derselben ohne qualitative Änderung der Spezifität beibehalten, ein Umstand, der sehr geeignet ist, die Entwicklung alimentärer Eiweißüberempfindlichkeiten zu begünstigen. Dagegen war man über die Frequenz und die Bedeutung der spontanen Sensibilisierungen durch *Inhalation* bis in die jüngste Zeit nicht im klaren. Man wußte zwar, daß die Respirationsschleimhaut der Tiere schon im normalen Zustande für die verschiedensten Eiweißantigene leicht permeabel sei, und hatte zahlreiche anaphylaktische Versuche mit positivem Ergebnis durchgeführt, wo entweder die aktive Präparierung oder die Auslösung von lokalen und allgemeinen Symptomen oder auch beide Vorgänge durch Einführung des Antigens in die unverletzten Luftwege bewerkstelligt worden waren (FRIEDBERGER, BUSSON, ARLOING und LANGERON, STERNBERG u. a. m.). Wir sind aber erst heute darüber informiert, wie leicht und wie regelmäßig der Mensch eine spezifische Hypersensibilität durch Einatmung allergenen Materials erwirbt und in welch ungeahntem Umfange die Gelegenheit zu solchen unbewußten Sensibilisierungen gegeben ist. Durch COOKE, besonders aber durch die wertvollen Studien von STORM VAN LEEUWEN, VAREKAMP und BIEN wurde die Erkenntnis angebahnt, daß die Luft der Wohnungen, aber auch die Luft im Freien asthmogene Substanzen in außerordentlich feiner Verteilung enthält. STORM VAN LEEUWEN hat für diese Stoffe, deren Natur größtenteils unbekannt ist und für welche man nur mit Wahrscheinlichkeit annehmen kann, daß sie Proteine pflanzlichen oder tierischen Ursprungs sind, die Bezeichnung „Miasmen" vorgeschlagen, ein Ausdruck, der mit Rücksicht auf die Pollenzellen, Tierhaare, Hautschuppen usw., die doch in die gleiche Kategorie rangieren, nicht ganz passend erscheint. Trotz ihrer geringen Dimensionen, welche ein Aufwirbeln und Flottieren dieser Partikel im Luftmeer gestatten, müssen sie andererseits doch eine gewisse, der Sedimentierung förderliche Schwere besitzen, da sie 300 m über dem Meeresspiegel bereits seltener werden und in 1200 bis 1800 m nur mehr eine unterschwellige, für die Auslösung asthmatischer Anfälle nicht mehr ausreichende Konzentration besitzen; in solchen Höhenlagen bleibt der Asthmatiker beschwerdefrei, wird aber sofort von Paroxysmen ergriffen, wenn er in die allergenreiche Atmosphäre der Niederung zurückkehrt. Wenn ich stillschweigend voraussetze, daß die fraglichen Substanzen nicht nur den idiosynkrasischen Asthma-Anfall auslösen, sondern daß sie auch die Disposition zu diesen Anfällen, die *Asthmabereitschaft*, infolge ihrer sensibilisierenden Wirkung erzeugen, so stütze ich mich keineswegs ausschließlich auf die schon zitierten Inhalationsexperimente, wie sie STORM und BUSSON an Tieren ausgeführt haben, sondern in erster Linie auf Beobachtungen an Menschen. Nach ANCONA fängt schließlich jeder Mensch, der sich genügend lange mit durch Pediculoides ventricosus verunreinigten Getreidesorten beschäftigt, an, allergisch, und zwar mit Asthma und Urticaria zu reagieren. Die „Idiosynkrasie" ist somit in diesem Falle *zweifellos erworben;* sie verdient auch ihren Namen nicht mehr, *denn sie hat ihr individuelles Gepräge abgestreift*, und nichts läßt mehr auf die Notwendigkeit einer hereditären, nur in bestimmten Stammbäumen vererbbaren Anlage schließen, die auf eine Ideovariante in der Ahnenreihe zurückzuführen wäre. Gegen die asthmogenen Substanzen, die sozusagen als *normale Verunreinigung der Luft* auftreten, verhalten sich die Menschen scheinbar anders; nicht alle, welche diese Luft atmen, werden asthmatisch, sondern nur ein wechselnder Prozentsatz, in Holland 8 vom Hundert der Bevölkerung. STORM VAN LEEUWEN sucht diesen Gegensatz aufzuklären, indem er (übrigens ohne spezielle Motivierung) zwischen stark und schwach wirksamen Allergenen unterscheidet. Wenn ein starkes Allergen beständig in der Luft vorkommt (wie das für die Beobachtungen von ANCONA zutrifft) sensibilisieren sich alle Menschen; wirkt das Allergen schwächer, ist seine Konzentration in der Atemluft gering, sind die Kontakte mit demselben von kurzer Dauer und nicht genügend häufig, so werden nur einzelne Personen überempfindlich, und da trete eben doch der Einfluß des Dispositionsfaktors zutage. Das dürfte im allgemeinen zutreffen; nur läßt sich auf diesem Wege die Abgrenzung der Idiosynkrasie von der Anaphylaxie nicht begründen. Die gleiche individuelle Variabilität der Ansprechbarkeit ist auf allen Gebieten der erworbenen Immunität zu konstatieren, selbstverständlich auch auf dem der Anaphylaxie. Die Behauptung, daß jedes Meerschweinchen ohne Ausnahme anaphylaktisch wird, dem man einmal Pferdeserum injiziert hat, verliert sofort ihre Gültigkeit, wenn man mit der präparierenden Dosis auf 0,0001—0,00001 ccm hinuntergeht oder wenn man die Inkubationsperiode auf 6—7 Tage reduziert; unter solchen Bedingungen oder beim Arbeiten mit schwachen Anaphylaktogenen kann der Prozentsatz der sensibilisierten Tiere denselben Wert annehmen wie jener der Asthmatiker oder Heufieberpatienten in verschiedenen Ländern. Es ist sehr gut möglich, daß die Disposition in diesem soeben präzisierten Sinne sowohl bei Menschen wie bei Tieren durch Erbfaktoren mitbestimmt wird; für Tiere ließe sich das entscheiden, wenn es gelänge, reine Linien mit konstanter, sei es nun optimaler oder pessimaler Empfänglichkeit zu züchten. *Allein* maßgebend für die jeweilige Disposition ist jedoch die Erbanlage keinesfalls. Die Sensibilisierbarkeit kann vielmehr bei gegebener Erbmasse durch die verschiedensten Einflüsse gesteigert, abgeschwächt oder aufgehoben werden. Die Zahl solcher antagonistischer oder synergistischer, durch klinische

Beobachtungen oder Tierexperimente ermittelter Einflüsse wird von Tag zu Tag größer; ich nenne nur die Inanition, manche Infektionen, die Röntgenbestrahlung (V. HEINRICH), das einseitige Überwiegen bestimmter Proteine in der Nahrung (WELLS und OSBORNE), die Störungen in der Korrelation der endokrinen Organe, namentlich die Dysfunktionen der Schilddrüse (SAVINI und HODGSON, LEVI und ROTHSCHILD, PISTOCCHI, LANZENBERG und KÉPINOW u. v. a.) und vor allem die in dieser Richtung noch viel zu wenig studierten Anomalien im Ionenhaushalt, speziell die Verschiebungen des Verhältnisses der Ca- und K-Ionen, mit denen nach der Theorie von ZONDEK die abnormen Erregbarkeiten des Vagus und des Sympathicus zusammenhängen sollen, deren Bedeutung für das Zustandekommen allergischer Phänomene von mancher Seite stark in den Vordergrund gerückt wird (ARNOLDI und LESCHKE, MORO, KLINKERT, GARRELON und SANTENOISE, SAVINI, KÄMMERER u. a. m.). Die Disposition, wie sie uns an bestimmten Individuen einer Spezies entgegentritt, ist somit hier wie anderwärts ein Produkt aus Erbverfassung und Bewirkung durch die Umwelt; eine reinliche Scheidung der beiden Anteile kann derzeit noch nicht durchgeführt werden. Die Existenz des konstitutionellen Momentes wird durch diese Betrachtung ebensowenig geleugnet wie die Möglichkeit, daß es in gewissen Fällen von Hypersensibilität gegen einen *effektiv erstmaligen Kontakt* mit einem Allergen die dominante Rolle übernehmen kann. Wohl aber gelangt man zu einer Modifikation der Auffassung, wie sie COCA sowie COOKE und VAN DER VEER vertreten haben, eine Modifikation, die sich in folgenden Sätzen resümieren läßt:

1. Es gibt keine absolut scharfe Grenze zwischen idiosynkrasischen und nicht idiosynkrasischen Menschen. Die Differenzen sind höchstwahrscheinlich nur graduell und können zum Verschwinden gebracht werden, wenn man eine größere Zahl von Individuen der intensiven Einwirkung hochwirksamer Allergene exponiert. Die Idiosynkrasie gewinnt damit den Charakter einer ins Extrem gesteigerten und infolgedessen als unzweckmäßig imponierenden Abwehrreaktion des Organismus gegen die verschiedensten körperfremden Substanzen.

2. Analogen Unterschieden der Sensibilisierbarkeit begegnet man unter geeigneten Versuchsbedingungen im anaphylaktischen Experiment mit hochmolekularen Eiweißverbindungen.

3. Die Sensibilisierbarkeit ist bei einem und demselben Individuum keine Konstante, sondern eine von zahlreichen Faktoren abhängige Größe, deren Wert im Laufe der Individualexistenz beträchtlichen Schwankungen unterworfen ist. Darin liegt vermutlich auch die Erklärung, warum die idiosynkrasische Reaktivität meist erst in relativ späten Lebensperioden und oft erst nach sehr lange dauerndem Kontakt mit dem auslösenden Agens manifest oder, wie man sich auszudrücken pflegt, geweckt wird.

4. Der Mensch kann enteral oder pulmonal gegen eine Reihe von Substanzen sensibilisiert werden, die in der Nahrung und in der Atemluft als normale oder abnorme Bestandteile vorkommen. Will man daher aus jenen Idiosynkrasien, die nach scheinbaren Ersteinwirkungen zur Beobachtung kommen, Schlüsse auf die Bedeutung der Erbanlage ziehen, so ist vorerst die Möglichkeit des Erworbenseins d. h. der Sensibilisierung während des voraufgegangenen Lebens sorgfältig auszuschließen. Daß sich durch cutane, conjunctivale, enterale und pulmonale Sensibilisierung *polyvalente Idiosynkrasien*, und zwar besonders leicht, entwickeln können, braucht nicht auseinandergesetzt werden; sie stellen dann ein Pendant zur polyvalenten Anaphylaxie nach parenteraler Immunisierung mit mehreren Eiweißantigenen dar. Auch die polyvalenten Idiosynkrasiker sind stets nur auf eine bestimmte Zahl, nie aber auf alle allergenen Stoffe abgestimmt, mit denen ihr Organismus nachweislich in Berührung getreten ist („Polyspezifität"); *welcher* Stoff zur sensibilisierenden Auswirkung gelangt, kann nach dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens von mehrfachen Umständen abhängen. In erster Linie kommt die von BENJAMIN und WITZINGER entdeckte, von J. H. LEWIS sowie von DOERR und BERGER genauer analysierte *Konkurrenz der Antigene* in Betracht, die darin besteht, daß Proteine von höherer biologischer Wirkungsintensität die sensibilisierenden Effekte von gleichzeitig einverleibten, minder aktiven Eiweißkörpern abschwächen oder auch gänzlich unterdrücken. Wahrscheinlich gilt dieses Gesetz nicht nur für die typischen Eiweißantigene, sondern für alle Allergene ohne Ausnahme. Ferner muß die Permeabilität der Haut- und der Schleimhäute eine gewisse Auswahl der ins Gewebe oder in die Zirkulation eindringenden Stoffe bedingen. In dieser Hinsicht ist die Angabe von STORM VAN LEEUWEN wichtig, daß in vielen asthmogenen Materien (Ipecacuanha, Pollen, Ricin, Ursol, Staub aus milbenhaltigem Getreide) neben dem eigentlichen Allergen noch eine *primär reizende Begleitsubstanz* nachweisbar ist. Entzündliche Reizungen steigern den Quellungszustand und damit auch die Durchlässigkeit membranöser Strukturen. Übrigens kann die Polyvalenz resp. die Polyspezifität zuweilen auch bloß vorgetäuscht sein, wenn anscheinend verschiedene, die Reaktion auslösende Stoffe von komplexer Zusammensetzung (Substanzgemische) ein und dasselbe Allergen oder differente Allergene von gleicher Chemospezifität enthalten; das kann sich um so leichter ereignen, als wir über die chemische Konstitution der meisten Allergene so gut wie gar nichts wissen.

5. Die Vererbungsforschung hat bisher nur eine familiäre Häufung der Idiosynkrasien ergeben, und COOKE und VAN DER VEER konnten es wahrscheinlich machen, daß das MENDELsche Gesetz in der Genealogie solcher Familien einen, allerdings nur verschwommenen und nicht allseits anerkannten Ausdruck findet. Ob sich einer oder mehrere

Erbfaktoren beteiligen, ob sie dominant oder recessiv sind, ließ sich bisher nicht feststellen. Völlig unerwarteterweise konnte ferner gezeigt werden, *daß die Lehre von der Vererbung der idiosynkrasischen Dispositionen keinen Aufschluß über die Spezifität zu geben vermag.* Die familiäre Häufung tritt nur hervor, wenn man die Spezifität vernachlässigt und lediglich auf das Vorkommen *beliebiger* idiosynkrasischer Hyperergien abstellt. Die Spezifität ist daher nur insoweit verständlich, als die Idiosynkrasie erworben wird resp. durch Sensibilisierung während der individuellen Existenz zustande kommt. Daß ein Apotheker gegen Ipecacuanha, ein Fellfärber gegen Ursol (CURSCHMANN), ein Müller oder Getreidehändler gegen Getreidestaub überempfindlich wird, erscheint uns im Hinblick auf die Anaphylaxie und andere Immunitätsreaktionen ganz natürlich. Dagegen bilden die monovalenten Idiosynkrasien, die bei einem effektiv erstmaligen Kontakt mit dem auslösenden Stoff manifest werden, ein vorläufig unlösbares Problem, denn hier kann die Spezifität weder ererbt noch auch — sofern die Prämisse des erstmaligen Kontaktes stimmt — erworben sein. Die Vorstellung von H. KÄMMERER, daß solche Idiosynkrasiker in ihren Körperzellen ein Eiweiß von besonderer, von der Norm abweichender chemischer Zusammensetzung beherbergen, welches durch bestimmte Reizstoffe derart beeinflußt wird, daß es infolge eines pathologischen Abbaues histaminartig wirkende Spaltprodukte liefert, erklärt — ganz abgesehen von ihrem durchaus hypothetischen Charakter — die Spezifität nicht; sie sagt nichts darüber aus, warum dieser Abbau zu Capillargiften in der Elterngeneration z. B. durch den Blütenstaub von Palmenarten, bei der Nachkommenschaft aber durch Chinin ausgelöst wird (eigene Beobachtung).

Da die Spezifität von hereditären Einflüssen in weitem Umfange unabhängig ist, müssen wir uns fragen, ob wir dem *Begriff der idiosynkrasischen Disposition* nicht einen anderen präzisen Inhalt zu geben vermögen. Daß diese Anlage in einer *gesteigerten Sensibilisierbarkeit* bestehen könnte, wurde bereits erwähnt und auf die zahlreichen Analogien, unter den Immunitätsvorgängen verwiesen. Eine Versuchsreihe von COOKE und VAN DER VEER scheint jedoch dieser Auffassung, zu der sich auch STORM VAN LEEUWEN in seinen letzten Publikationen bekennt, zu widersprechen. COOKE und VAN DER VEER injizierten normale Menschen und Asthmatiker mit Pferdeserum und prüften die cutane Sensibilität nach einiger Zeit; ein wesentlicher Unterschied ließ sich nun nicht konstatieren, die Asthmatiker waren nicht stärker und nicht häufiger überempfindlich geworden als die nicht idiosynkrasischen Versuchspersonen. Obwohl bisher keine gegenteiligen Angaben vorliegen, dürfte dieses Experiment doch nicht ausreichen, um ein abschließendes Urteil über die Sensibilisierbarkeit idiosynkrasisch veranlagter Menschen zu gestatten; COOKE und VAN DER VERR wollten einer bereits bestehenden Überempfindlichkeit eine andere gewissermaßen aufpfropfen, was nach den experimentellen Untersuchungen von BENJAMIN und WITZINGER, LEWIS, WEIL, COCA und KOSAKAI nicht immer gelingen muß. Für die leichtere Sensibilisierbarkeit des Idiosynkrasikers spricht jedenfalls die Tatsache, daß seine Haut auf die verschiedensten allergenen Stoffe in weit höherem Prozentsatz hyperergisch reagiert als die Haut normaler Menschen. B. BLOCH hat das für Ekzematiker bewiesen, und für die alimentären Überempfindlichkeiten ist dieses Verhalten schon seit langem bekannt. Menschen, die an idiosynkrasischem Asthma leiden, geben nach STORM VAN LEEUWEN und VAREKAMP fast immer starke Reaktionen auf Tuberkulin und auf Extrakte aus menschlichen Hautschuppen, etwas seltener, aber noch immer sehr häufig (36—67%) auf Extrakte aus verschiedenen tierischen Haarsorten, Federn, Pflanzenpollen u. dgl. Bezeichnenderweise sind das sämtlich Substanzen, die in der Atemluft oder doch in der Lunge (allgemeine Verbreitung der tuberkulösen Infektion) in der Regel vorhanden sind; auf die Eiweißkörper der Tiersera, die in der terrestrisch modifizierten, wie STORM sagt, miasmenreichen Atmosphäre fehlen, reagiert die Haut des Asthmatikers nur in einem wenig höheren Prozentsatz als die der normalen Vergleichspersonen. Beiläufig bemerkt, können derartige, oft nur auf die Haut beschränkte *Nebenallergien* sehr störend empfunden werden, wenn man das kausale Agens d. h. die auslösende Substanz der *Hauptallergie* durch Cutan- oder Intracutanproben zu ermitteln trachtet (vgl. hierzu C. NOEGGERATH und REICHLE).

Ein vortreffliches Beispiel für die außerordentlich großen Abstufungen der Sensibilisierbarkeit, die innerhalb einer Tierspezies bestehen können, und für die konstitutionellen Grundlagen derselben besitzen wir in der *Serumkrankheit*, ein Beispiel, dessen Wert noch dadurch erhöht wird, daß sich dieser pathologische Vorgang durch die so gefürchteten Immediatreaktionen der Erstinjizierten äußerlich an die Idiosynkrasien, durch die nach längerer Latenzzeit auftretenden Fälle an die Anaphylaxie anlehnt. Daß zumindest die letztgenannten Formen auf Antigen-Antikörper-Reaktionen beruhen, hat schon v. PIRQUET erkannt, und durch die Untersuchungen von OPIE, LONGCOPE und RACKEMANN, MACKENZIE und LEAKE konnten die letzteren Bedenken, die dem vorbehaltlosen Anschluß an diese Hypothese im Wege standen, hinweggeräumt werden; sind doch auch die wirksamen Stoffe (Globuline und Albumine des Pferdeserums) längst als typische Eiweißantigene und vor allem als Anaphylaktogene legitimiert. Nun reagieren aber nicht alle Menschen auf eine Erstinjektion von Pferdeserum, sondern *nur eine gewisse Anzahl*, die jedoch nicht von vornherein definitiv fixiert ist, *sondern mit der Größe der einverleibten Serumdosis beträchtlich wächst*; nach der parenteralen Zufuhr von 100—250 ccm erkranken bis zu 90% aller Individuen der weißen Rasse. Geringere Grade der Sensibilisierbarkeit

lassen sich somit durch Verstärkung des Antigenreizes oder, unpräjudizierlich gesprochen, durch Erhöhung der Pferdeserumkonzentration im menschlichen Blute überwinden. Injiziert man mittlere und gleiche Dosen artfremden Eiweißes, so schwankt die Inkubation, die man als den zeitlichen Ausdruck der Sensibilisierbarkeit betrachten darf, bei den positiv Reagierenden von wenigen Tagen bis zu 2 oder gar 3 Wochen. Daß hier erbliche Differenzen vorliegen, geht unter anderem auch daraus hervor, daß farbige Rassen (Indianer) unter identischen Bedingungen einen weit kleineren Prozentsatz von Serumkranken stellen als Weiße (COCA, DEIBERT und MENGER). Was soll man sich aber unter einer fehlenden Sensibilisierbarkeit vorstellen? Auch darauf braucht man die Antwort nicht mehr schuldig zu bleiben. MACKENZIE und LEAKE überzeugten sich, daß das eingespritzte Eiweißantigen bei jenen Menschen, die nicht serumkrank werden, monatelang im Blute kreist, während es aus der Zirkulation der Erkrankenden verschwindet. Sie führen daher das Ausbleiben der Serumkrankheit (nach dem Vorbilde der alten Theorie von METSCHNIKOFF über die Ursache der natürlichen antitoxischen Immunität) darauf zurück, daß das Antigen in solchen Fällen mit dem Protoplasma der antikörperproduzierenden Zellen gar nicht in Kontakt treten kann, und ventilieren den m. E. glücklichen Gedanken, daß vielleicht die Membran (Grenzschicht) dieser Zellen den Eintritt von Eiweißkolloiden in ihr Inneres verhindert. Damit wäre die Sensibilisierbarkeit und mit ihr die rätselhafte allergische Disposition (für den einen speziellen Fall) als die individuelle Variabilität der Durchlässigkeit dieser Zellen (des reticulo-endothelialen Apparates) definiert.

Ein anderes Merkmal der idiosynkrasischen Disposition ist möglicherweise eine durch die Erbanlage im voraus bestimmte *abnorme Reizbarkeit der Capillarwandungen und der sie versorgenden Nerven* (H. KÄMMERER). Bei den meisten idiosynkrasischen Symptomen stehen Vorgänge an den Capillaren, wie Erweiterungen, erhöhte Durchlässigkeit, Blutaustritte, im Vordergrund des Geschehens; man braucht nur an die Erytheme, die Urticariaquaddel, an die Ödeme der Haut und der Bronchialschleimhaut, an die Blutdrucksenkung zu denken. Man erhält den unmittelbaren Eindruck, daß die idiosynkrasische Noxe, deren Einheitlichkeit durch die Identität der auftretenden Störungen verbürgt wird, direkt am Endothel angreift; die glatten Muskeln werden vermutlich erst sekundär in Mitleidenschaft gezogen, wenn die durchlässig gewordenen Capillaren den Austritt des auslösenden Stoffes ins Gewebe gestatten. Eine erhöhte Reizbarkeit und leichte Erschöpfbarkeit der Capillargefäße könnte somit sehr wohl an der konstitutionellen Idiosynkrasie beteiligt sein; nur mangeln sichere Anhaltspunkte. Nach STORM VAN LEEUWEN reagieren Asthmatiker auf das bekannte Capillargift Histamin nicht stärker als normale Individuen.

Die endotheliale Genese zahlreicher idiosynkrasischer Symptome stellt neue und prinzipiell bedeutsame Beziehungen zur Anaphylaxie her. Auch im anaphylaktischen Experiment erweisen sich die glatten Muskelzellen und die Endothelien der Capillaren als die eigentlichen „Schockgewebe". Auf die älteren Untersuchungen über die dominierende Rolle der Endothelschädigung brauche ich nicht mehr zurückzukommen, da ich ihnen ausführliche Besprechungen in den WEICHARDTschen Ergebnissen gewidmet habe. Von neueren Arbeiten, die sich mit diesem Thema befassen, seien nur die Veröffentlichungen von P. SCHMIDT und BARTH, PETERSEN und LEVINSON sowie von MANWARING und seinen Mitarbeitern zitiert. MANWARING leitete durch die Gefäße der überlebenden Lunge spezifisch sensibilisierter Hunde Ringerlösung; wurde zur Durchströmungsflüssigkeit Antigen zugesetzt, so entleerten sich große Mengen Flüssigkeit aus der Trachea. Kolloide wie Pferdeserum oder Hb, passierten die permeabel gewordenen Capillaren anscheinend ohne jedes Hindernis, gröber disperse Sole mit einer verschieden starken Konzentrationsverminderung und nur größere Partikel wie Tuschekörner wurden noch in Gefäßlumen zurückgehalten. Dieser Versuch macht uns das explosive Auftreten von Ödemen bei der Anaphylaxie, aber auch bei der Serumkrankheit und bei verschiedenen Idiosynkrasien mit cutaner oder pulmonaler Lokalisation (Asthma) verständlich und beleuchtet von einer neuen Seite die bekannte Erfahrung, daß sich alle diese Zustände in gleicher Weise durch Ca-Zufuhr, besonders aber durch große Adrenalindosen beherrschen lassen, solange die Endothelschädigung noch nicht bis zur Reaktionsunfähigkeit oder bis zum Zelltod fortgeschritten ist. Nur dort, wo rasch einsetzende Spasmen glatter Ringmuskeln (der Lebervenen oder der Bronchiolen) das Leben bedrohen, bevor sich noch umfangreiche Ödeme ausbilden, kann Atropin das wirksamere Antidot sein. Daß gerade das Endothel so mächtig affiziert wird, begreift sich zunächst für die Anaphylaxie leicht, wenn man berücksichtigt, daß diese Zellart sowohl mit kreisendem wie lokal injiziertem Antigen besonders ausgiebig in Kontakt tritt und daß wir den reticulo-endothelialen Apparat als die hauptsächliche Produktionsstätte der Antikörper zu betrachten haben; die pathogene Antigen-Antikörper-Reaktion muß sich daher *an* und wahrscheinlich *in* den Endothelien mit großer Intensität vollziehen. Bei den Idiosynkrasien kommt dem Endothel eine ganz analoge Bedeutung für die Genese der krankhaften Erscheinungen zu, und es ist gewiß ein motivierbarer Schluß, wenn man wenigstens bei den sogenannten Eiweißidiosynkrasien Reaktionen der auslösenden Stoffe mit endothelständigen Antikörpern für die Reizung der Capillarwände verantwortlich macht.

Die Existenz solcher Antikörper ist ja längst nicht mehr eine bloße Vermutung, sondern hat sich exakt beweisen lassen. Sie wird auch von COCA, der sie ursprünglich bezweifelte, neuerdings (COCA

und GROVE, Proc. of the soc. f. exp. biol. a. med. Nov. 1923) ausdrücklich anerkannt. COCA konnte sich selbst überzeugen, daß die Antikörper dieselbe Thermostabilität besitzen wie die anaphylaktischen, nämlich jene der Amboceptoren, und daß sie sich durch ihr Antigen komplett neutralisieren lassen. Dieser Neutralisierbarkeit in vitro muß aber notwendigerweise eine Neutralisierbarkeit in vivo entsprechen d. h. *der Idiosynkrasiker muß sich ebenso spezifisch desensibilisieren lassen wie ein anaphylaktisches Tier.* Daß dem tatsächlich so ist, lehren die vielen Erfolge, die man bei der spezifischen Therapie allergischer bzw. idiosynkrasischer Zustände erzielen konnte, Erfolge, die in Amerika zur Errichtung eigener Institute geführt haben, welche sich ausschließlich mit der ätiologischen Diagnose und Behandlung solcher Krankheiten befassen. Die angeblichen Unterschiede, die man zwischen der Desensibilisierbarkeit anaphylaktischer Tiere und idiosynkrasischer Menschen festgestellt haben will, können einer Kritik nicht standhalten. Man hat u. a. behauptet, daß man zwar Meerschweinchen durch Antigenzufuhr ihrer Überempfindlichkeit vollständig berauben kann, daß aber der Idiosynkrasiker Reste seiner hyperergischen Reaktivität bewahrt. Das trifft wohl für einzelne Beobachtungen zu. Soweit aber nicht rein quantitative Verhältnisse (ungenügende Desensibilisierungsdosen) im Spiele sind, dürfte ein anderer Faktor intervenieren, den OPIE erst kürzlich entdeckt hat. OPIE präparierte Kaninchen durch mehrfache Injektionen eines einheitlichen reinen Eiweißantigens (krystallisierten Ovalbumins) so lange, bis ihre Haut auf subcutane Einspritzungen in der bekannten, von M. ARTHUS beschriebenen Art reagierte; massive Antigendosen desensibilisierten solche Tiere komplett, und das Arthussche Phänomen ließ sich nicht mehr hervorrufen. Wurde aber die Immunisierung nicht mit *einem* Eiweißkörper, sondern mit einem Antigengemenge durchgeführt, z. B. Pferdeserum oder Eiereiweiß (deren Zusammensetzung aus mehreren Eiweißantigenen von WELLS, DALE und HARTLEY, DOERR und BERGER nachgewiesen ist), so änderte sich das Resultat; nunmehr waren selbst die größten Quantitäten des Komplexantigens nicht imstande, die gesteigerte Empfindlichkeit der Haut zum Verschwinden zu bringen. Der Mensch verhält sich in dieser Beziehung so wie das Kaninchen, und da für die auf cutanem, enteralem oder pulmonalem Wege erfolgende Sensibilisierung der Idiosynkrasiker fast immer nur Gemenge von verschiedenen allergenen Proteinen in Betracht kommen, wird der unvollständige Effekt mancher spezifischen Desensibilisierungsversuche idiosynkrasischer Menschen auf das Paradigma einer zweifellos anaphylaktischen Versuchsanordnung zurückgeführt; speziell das Positivbleiben der Cutanreaktion erscheint nicht mehr rätselhaft. Für die Wirkung einer spezifischen Desensibilisierung sind übrigens — und das gilt für die Anaphylaxie ebenso wie für die Idiosynkrasie — noch andere Umstände von Einfluß. Ein mit Pferdeserum präpariertes Meerschweinchen kann durch Pferdeserum völlig desensibilisiert werden, aber nur dann, wenn die Einverleibung dieses Komplexantigens in bestimmter Weise erfolgt. Von den Luftwegen aus konnte BUSSON keine Desensibilisierung erzielen, und BUSSON und OGATA haben die Angabe bei ihren Experimenten mit Pferdeschuppenextrakt bestätigt. Inwiefern hier rein quantitative Bedingungen ausschlaggebend sind, soll nicht erörtert werden; BUSSON und OGATA meinen, daß die eintretende Bronchostenose das Eindringen der zur Neutralisation des Antikörpers erforderlichen Antigenmenge verhindert könnte, und sehen in ihren Ergebnissen eine Erklärung, warum der Asthmatiker, der doch kontinuierlich allergenes Material einatmet, nicht automatisch von seinem Leiden befreit wird, sondern nur dann, wenn man die Desensibilisierung auf extrapulmonalem Wege vornimmt. Die Pausen zwischen den asthmatischen Anfällen deuten aber m. E. doch auf partielle Desensibilisierungen hin; sie sind oft viel zu lang, um auf eine Erschöpfung der reagierenden Gewebe bezogen zu werden. Die *Desensibilisierung* durch einmalige Antigenzufuhr ist ihrer Natur nach ein transitorischer, spontan zu erneuter Hypersensibilität hinlenkender Vorgang, wie das schon OTTO in seinem ersten grundlegenden Arbeiten über Anaphylaxie festgestellt hat; sie ist daher von der *dauernden Beseitigung,* von der wirklichen Heilung allergischer Zustände zu unterscheiden, die nicht in einer bloßen Absättigung von Antikörpern bestehen kann, sondern als das Unvermögen zu erneuter spezifischer Sensibilisierung definiert werden muß. Es wäre zu erwägen, ob man solche Heilungen, die durch systematische und längere Zeit fortgesetzte Behandlung mit dem spezifischen Allergen tatsächlich erreicht wurden, auch weiterhin als Desensibilisierungen bezeichnen soll. Die Verwendung dieses Namens für zwei verschiedene Prozesse ist, wie die Durchsicht der Literatur lehrt, geeignet, Verwirrung zu stiften. In der Anaphylaxieforschung spricht man im analogen Falle von „Immunität", wählt also einen anderen Ausdruck, der jedoch zweckmäßigerweise durch ein passenderes Wort ersetzt werden sollte. Sowohl die vorübergehende wie die dauernde Umwandlung einer Hyperergie in eine Normergie läßt sich auch *auf unspezifischem Wege* bewerkstelligen, eine Erkenntnis, welche die moderne Therapie in steigendem Umfange auszunutzen bestrebt ist; die Entscheidung, wie weit sich an den beobachteten Erfolgen spezifische oder unspezifische Einflüsse beteiligen, kann aber zuweilen schwer fallen (Tuberkulinbehandlung bei Asthma, Peptonkuren bei alimentärer Überempfindlichkeit).

In den vorstehenden Ausführungen habe ich nur die *Eiweißidiosynkrasien* berücksichtigt oder, richtiger, die Idiosynkrasien gegen jene Eiweißverbindungen, deren anaphylaktogene Funktion sichergestellt oder wahrscheinlich gemacht werden konnte. Es hat sich ergeben, daß fundamentale Unterschiede zwischen dieser Gruppe und der ex-

perimentellen Eiweißüberempfindlichkeit, der Anaphylaxie, nicht vorhanden sind, und daß wir für beide den gleichen Mechanismus, nämlich eine das Endothel und die glatte Muskulatur reizende Antigen-Antikörper-Reaktion, annehmen dürfen. Da zu den hier in Betracht kommenden Proteinen auch solche gehören, welche wie die Globuline des Pferdeserums oder das Ovalbumin in hoher chemischer und biologischer Reinheit dargestellt werden können, besteht kein Anlaß, derartigen Substanzen eine doppelte Antigenfunktion zuzuschreiben und sie bald als Allergene (nach COCA als Atopene) oder als Anaphylaktogene zu bezeichnen, je nachdem wir sie zur Auslösung eines idiosynkrasischen Anfalles beim Menschen oder eines anaphylaktischen Schockes beim künstlich präparierten Tier benutzen. Nach der allgemein herrschenden, wenn auch vielfach angefochtenen (BORDET, DOERR) Lehre soll zwar *auch ein chemisch einheitliches Antigen* imstande sein, im Organismus die Produktion *mehrerer differenter Antikörper* hervorzurufen; aber dieses Dogma kann auf den vorliegenden Fall keine Anwendung finden, *da wir von den idiosynkrasischen und den anaphylaktischen Reaktionskörpern nur die eine übereinstimmende Eigenschaft kennen, daß ihr Vorhandensein im Körper bestimmter Tierspezies Überempfindlichkeit bedingt.*

Außer den Idiosynkrasien gegen Eiweißantigene existieren aber auch *Formen, die gegen Substanzen gerichtet sind, von denen man keine Antigenfunktion im Sinne der Immunitätslehre kennt und die auch nicht zu den Proteinen gehören; in allen anderen Beziehungen gleichen diese Formen völlig den Eiweißidiosynkrasien, und es erwächst daher die Aufgabe, die Ursache der Gleichartigkeit zu untersuchen bzw. das trennende Merkmal genauer auf seine Bedeutung zu prüfen.* Um irgendeinen Stoff als Antigen anzuerkennen, müssen nach dem heutigen Stande unserer Kenntnisse folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Dieser Stoff muß im Organismus die Bildung von Reaktionskörpern hervorrufen. Diese Reaktionskörper entstehen in Zellen und werden sekundär an das Blutplasma gegeben; nur im letzten Zustande sind sie uns näher bekannt. Sie wurden sukzessive entdeckt und mit besonderen Namen bezeichnet; *daß es außer den bereits festgestellten Reaktionskörpern noch andere gibt, von denen man bis jetzt nichts wußte, liegt durchaus im Bereiche der Möglichkeit.*

2. Jedes Antigen wird durch seinen Antikörper gebunden und dadurch neutralisiert, d. h. seiner Reaktionsfähigkeit beraubt.

3. Jedes Antigen ist auf seinen Antikörper spezifisch eingestellt und umgekehrt.

Ergänzend kann man noch hinzufügen, daß die Antigenfunktion nur bei *blutfremden* Stoffen in Erscheinung tritt.

Fassen wir nun die *Arzneiidiosynkrasien, den Typus der Überempfindlichkeit gegen sogenannte Nichtantigene* schärfer ins Auge, so müssen wir zugeben, daß sie dem wesentlichen Inhalt dieser Prämissen weitgehend entsprechen. Denn sie können durch Kontakt mit den betreffenden Stoffen erworben werden, also durch vorausgehende Sensibilisierung entstehen (JADASSOHN, CURSCHMANN u. v. a.), sie lassen sich durch Desensibilisierung aufheben (Neutralisation) und zeigen einen oft ausgesprochenen spezifischen Charakter. Die Substanzen, welche idiosynkrasische Symptome auslösen, sind endlich blutsfremd. So hat B. BLOCH gefunden (briefliche Mitteilung), daß die Haut des idiosynkrasischen Ekzematikers nur auf Substanzen reagiert, welche im Körperhaushalt nicht vorkommen, nie aber auf Stoffe wie Zucker, Adrenalin, Harnsäure, und im selben Sinne läßt sich die Beobachtung von WALKER verwerten, daß die Abbauprodukte von Nahrungsmitteln bei alimentärer Idiosynkrasie um so schwächere Cutanreaktionen liefern, je weiter der Abbau vorgeschritten ist; im selben Maße nimmt eben auch die Blutsfremdheit dieser Spaltprodukte ab.

Die *Spezifität der Arzneiidiosynkrasien* dürfen wir ohne weiteres zu der Spezifität der Antigen-Antikörper-Reaktionen in Parallele setzen. Die Schwierigkeiten, welche sich dieser Auffassung entgegenstellten, entsprangen der Überzeugung, daß die Spezifität der Eiweißantigene von dem Gesamtaufbau des großen Eiweißmoleküls abhänge und infolgedessen an den Eiweißcharakter dieser Substanzen unauflöslich gekettet sei. Da die chemische Konstitution der antigenen Proteine noch nicht festgestellt werden konnte, konstruierte man sogar einen recht primitiven Gegensatz zwischen den chemisch nicht definierbaren Antigenen und den chemisch bekannten Nichtantigenen, eine Antithese, der man in der neuesten Literatur noch begegnet. Oder man erwog die Möglichkeit, daß Antigenfunktion und Spezifität überhaupt nicht auf der chemischen, sondern auf der physikalischen Beschaffenheit der Eiweißstoffe beruhen könnten. Seit den Arbeiten von OBERMAYER und E. P. PICK, FREUND, WELLS und OSBORNE, DALE und insbesondere LANDSTEINER sind wir aber zur Einsicht gelangt, daß es nur eine Chemospezifität gibt, daß sie von der Eiweißnatur des betreffenden Stoffes nicht notwendig dependiert und daß sie von ganz einfachen chemischen Verbindungen, die wir in das Eiweißmolekül einführen, entscheidend beeinflußt wird.

LANDSTEINER ist aber noch einen Schritt weiter gegangen. Er immunisierte Kaninchen mit Azoproteinen d. h. mit Substanzen, die er sich durch Kuppelung eines Azofarbstoffes von bekannter chemischer Konstitution mit einem Eiweißantigen hergestellt hatte, und erhielt Antikörper, welche mit dem zur Immunisierung benutzten Antigen eine Flockung, eine *azospezifische Präcipitation* gaben. *Diese Flockungsreaktion konnte nun durch die reine, nicht mehr mit Eiweiß verbundene Azoverbindung spezifisch gehemmt werden,* der Antikörper wurde durch den nichtproteiden, chemisch bekannten und relativ einfach gebauten Träger der Spezifität abgesättigt.

WOLFF-EISNER hat zuerst versucht, die Konzeption der Chemospezifität, wie sie durch OBERMAYER und E. P. PICK entwickelt worden war, auf die Arzneiidiosynkrasien zu übertragen. Er nahm an, daß sich Stoffe wie etwa Jod mit dem Körpereiweiß verbinden und daß dieses im Organismus gebildete Jodeiweiß infolge seiner Blutfremdheit zum Antigen, und zwar zum jodspezifischen Antigen, wird. Diese Idee wurde in vielfach modifizierter Form fortgesponnen, bekam aber doch erst vor kurzem eine solidere Basis. LANDSTEINER und etwa zu gleicher Zeit K. MEYER und M. E. ALEXANDER konnten beim Meerschweinchen *eine spezifische Atoxylüberempfindlichkeit* erzeugen. Eigentlich handelte es sich um eine Hypersensibilität gegen Atoxyleiweiß, da diese Substanz und nicht das reine Atoxyl zur Sensibilisierung der Tiere und zur Auslösung der Schocksymptome benutzt wurde. Aber die Atoxylspezifität stand ebensowenig in Zweifel wie der typisch anaphylaktische Charakter der durch die Reinjektion hervorgerufenen Erscheinungen. LANDSTEINER vermochte sogar die durch Atoxyleiweiß präparierten Meerschweinchen durch Injektion von reinem Atoxyl zu desensibilisieren, genau so wie der Aspirin-Idiosynkrasiker durch Aspirin normergisch gemacht werden kann. Daß der Schock ausblieb, wenn reines Atoxyl injiziert wurde, erscheint mir in Anbetracht dessen, was über die Bewertung dieses Indicators bei der Beurteilung eines überempfindlichen Zustandes gesagt wurde, von minderer Bedeutung.

Nur in einer einzigen Hinsicht läßt uns das Tierexperiment im Stich; *wenn wir das Eiweiß auch bei der Sensibilisierung ausschalten und durch Behandlung mit Chinin, Aspirin, Atoxyl usw. spezifische Überempfindlichkeit erzielen wollen, werden die Resultate negativ oder unsicher.* LANDSTEINER hat daher für Substanzen, welche wie das Atoxyl oder gewisse Lipoide (K. MEYER), welche zwar an sich nicht immunisieren, die Antikörperbildung nicht anregen, die aber diese Fähigkeit durch Anlehnung an ein Eiweißantigen erwerben, den Begriff der „Haptene" eingeführt; die Antigenfunktion des vom Eiweiß losgelösten Haptens soll sich auf die spezifische Absättigung des bereits vorhandenen, durch Zuhilfenahme eines Eiweißträgers entstandenen Antikörpers beschränken. Ob aber solche Haptene nicht doch für einzelne Individuen einer Spezies zum Vollantigen werden können, wäre eines weiteren, an das Vorbild der Idiosynkrasien enger angelehnten experimentellen Studiums wert. *Vielleicht läßt sich dann die Reihe der Anaphylaktogene mit abgestufter Wirkungsintensität bis in das Bereich chemisch bekannter und einfacher aufgebauter Verbindungen verlängern.*

Einstweilen ist diese letzte Schranke, die die Arzneiidiosynkrasie von der experimentellen Eiweißüberempfindlichkeit trennt, noch nicht gefallen. Aber es liegen Anzeichen vor, daß die Proteine de facto nicht die einzigen Substanzen sind, gegen welche sich Zellen durch die Produktion besonderer neutralisierender Reaktionskörper zur Wehr setzen. So hat SCHNABEL gezeigt, daß Bakterien, die man der Einwirkung von Optochin, Trypaflavin und ähnlichen Stoffen aussetzt, zunächst überempfindlich und dann unterempfindlich (hypergisch) werden; einer dieser Zustände, die Giftigkeit, ließ sich passiv durch bakterienfreie Bouillonkulturfiltrate auf Normalbakterien übertragen, also durch Reaktionskörper, welche die immun gewordenen Bakterien nach außen abgegeben hatten.

Eine andere Theorie, welche die identischen Merkmale *sämtlicher* Idiosynkrasien und ihre unverkennbare Beziehung zur Anaphylaxie in einer auch nur annähernd befriedigenden Weise aufzuklären vermag, wurde bis jetzt nicht aufgestellt. STORM VAN LEEUWEN will die Überempfindlichkeit der Idiosynkrasiker auf eine geringere bindende Kraft ihres Blutserums und ihrer Gewebe für die auslösenden Stoffe beziehen; die Tatsache, daß verschiedene Substanzen bei Idiosynkrasikern die gleichen Symptome auslösen, soll hingegen darauf beruhen, daß sie lediglich als Verstärker (Augmentatoren) der Wirkung von Capillargiften fungieren, die im normalen oder pathologisch geänderten Stoffwechsel entstehen. Der erste Teil dieser Hypothese konnte — wenn man von quantitativen Unstimmigkeiten absieht — für die Idiosynkrasie der Asthmatiker gegen Aspirin, und zwar nur für diese eine Form bestätigt werden; der zweite Teil ließ sich — wie STORM VAN LEEUWEN selbst anerkennt — nur an Einzelfakten wahrscheinlich machen, aber nicht direkt beweisen. Ein weiterer Ausbau der Stormschen Hypothese wurde — soweit dies aus der zugänglichen Literatur zu ersehen — weder von ihrem Autor noch von anderer Seite versucht; sie läßt sich überdies mit den Ansichten, welche STORM neuerdings hinsichtlich der Erwerbbarkeit der Idiosynkrasien und der experimentellen Erzeugung derartiger Zustände an Tieren vertritt, nicht recht vereinen.

Es erscheint daher auch aus diesem Grunde rationell, die Bahn, auf welche uns Beobachtung und Experiment von allem Anfang an verwiesen haben, weiter zu verfolgen und die Beziehungen zwischen Idiosynkrasie und Anaphylaxie zu vertiefen, statt einseitig das Trennende in möglichst scharfer Form zu betonen. In ähnlichen Erscheinungen das gemeinsame Naturgesetz zu erkennen, ist der Zweck der Wissenschaft. Wenn die Unterordnung der Anaphylaxie und der Idiosynkrasie unter das dominierende Prinzip der in vivo ablaufenden Antigen-Antikörper-Reaktion noch nicht in allen Belangen durchführbar ist, so muß berücksichtigt werden, daß wir vom Mechanismus der Anaphylaxie nur den Anfang und das Ende, die Antigen-Antikörper-Reaktion und die Zellschädigung, besser kennen; über die Bindeglieder ist derzeit jede bestimmte Aussage unmöglich. Durch Ausfüllung dieser Lücke werden sich die Schleier, die das Idiosynkrasieproblem jetzt noch verhüllen, lüften.

Die Ausbeute wird sich aber nicht auf dieses enge Gebiet beschränken. Man wird Einblicke gewinnen in die normalen und pathologischen Funk-

tionen der Endothelien, jene merkwürdigen Zellen, welche zwischen Blut und Gewebe eingeschaltet sind und die, wie immer deutlicher hervortritt, eine ganze Reihe lebenswichtiger Aufgaben zu erfüllen haben. Die alten Gegensätze zwischen humoraler und cellulärer Betrachtungsweise dürften dann einer schon durch die Raumbeziehungen des Endothels vorgezeichneten Lösung entgegengehen.

Die Physiologie der Arbeit.

Von W. R. HESS, Zürich.

Die Physiologie der Arbeit ist heute ein Kapitel der Physiologie, welches sowohl vom *theoretischen Standpunkt* als auch aus *praktischen Gründen* Interesse beansprucht. Denn einerseits haben Untersuchungen im vergangenen Jahrzehnt über ein Problem, welches von Anbeginn exakter physiologischer Studien die Arbeit bester Forscher auf sich gezogen hat, in unerwartetem Umfange Aufklärung gebracht. Anderseits hat der Zwang zur Ökonomisierung der menschlichen Arbeitskräfte eine Reihe von Fragen auftauchen lassen, deren zuverlässige Beantwortung nur auf der Grundlage exakter physiologischer Kenntnisse möglich ist.

Es gibt noch ein drittes Motiv, welches die Arbeitsphysiologie zu einem die Gesamtmedizin interessierenden Thema macht. In den breitesten Volksschichten ist ein Drang nach Sportbetätigung lebendig geworden, d. h. ein Bedürfnis nach Auswirkung unserer Fähigkeiten zu körperlichen Leistungen. Es geht nicht an, daß der Arzt Systeme sportlicher Betätigung und Anschauungen über ihren Wert oder Unwert bestehen und sich weiterentwickeln läßt, ohne daß er seinen *mitbestimmenden Einfluß* geltend macht. Die Bedeutung des Sportes für die Volkshygiene auferlegt ihm die *Pflicht* hierzu, und ein vertieftes Verständnis für die physiologischen Vorgänge bei körperlichen Arbeitsleistungen gibt ihm das *Recht* zur Mitarbeit auf diesem Gebiete.

Arbeit bedeutet im allgemeinsten Sinne aktives Eingreifen eines Individuums in die Gestaltung seiner Umwelt. Eine primitivste und phylogenetisch älteste Form dieser Umgestaltung — in relativem Sinne — ist die Ortsveränderung. Dagegen spielen für den Menschen Umstellungen von Objekten in der Umwelt und ihre Bearbeitung eine große Rolle.

Wichtig für die Umschreibung dessen, was wir körperliche Arbeit nennen, ist der Umstand, daß ihr Ziel eine Beeinflussung der in der *Umgebung des Individuums herrschenden Bedingungen* ist. Unser Organismus ist noch zu mechanischen Äußerungen mit anderen Arbeitszielen befähigt. Der Vorgang der Blutzirkulation sei als Beispiel hierfür genannt. Hier handelt es sich um die Herstellung und Aufrechterhaltung der Existenzbedingungen der *Funktionselemente der Gewebe*, aus denen das Individuum aufgebaut ist. Durch diese Gegenüberstellung schaffen wir uns eine klare Abgrenzung zwischen den Vorgängen, welche zum *Arbeitsprozeß selbst gehören*, und den *Hilfsmechanismen*, welche seinen Ablauf begünstigen. Der springende Punkt ist dabei, daß es sich um Geschehnisse in Schichten verschiedener Rangordnung organischer Entwicklung handelt, nämlich einerseits um Regulationen im Lebensraum der Gewebeelemente und anderseits um Regulierungen im Lebensraum ihres Integrationsproduktes, des Gesamtindividuums.

Jedem Arbeitsvorgang liegt die Wirkung einer Kraft zugrunde. Im Falle der physiologischen Arbeitsleistung ist es die Muskelkraft. Sie beruht auf der Fähigkeit des Muskelgewebes, entgegen von Widerständen sich zu verkürzen. Dieser Verkürzungsprozeß läßt sich in zwei Richtungen verfolgen. Wir können einmal den Prozeß als einen mechanischen Vorgang hinnehmen, ihn in den *äußerlich* in Erscheinung tretenden *Eigentümlichkeiten* studieren und die Resultate seiner *Kombinationen* verfolgen. So gelangen wir zur Skelettmuskelmechanik und zu Fragen der Organisation des Innervationsapparates.

Ein andermal können wir unser Augenmerk im Gang des Geschehens rückwärts richten. Dabei suchen wir die Kenntnis der Vorgänge, welche sich im Innern der Muskelfaser abspielen. Auf diesem Wege kommen wir zur Chemie, physikalischen Chemie und Energetik des Verkürzungsvorganges.

Dieser letztgenannten Richtung wollen wir zuerst folgen, weil sie uns an die Quelle der Muskelarbeit führt.

Es sind die Erfolge präzisester Arbeit, die einen Einblick in den Entstehungsmechanismus der Energieentfaltung gebracht haben. EMBDEN, MEYERHOF, HILL waren die Führer dieser Arbeiten, welche an die bekannten Untersuchungen von FLETSCHER und HOPKINS anknüpften.

Daß die Quelle der Muskelarbeit das Kohlenhydrat ist, war schon seit langer Zeit bekannt. Heute kennen wir nun wesentliche Glieder in der Kette der Prozesse, durch welche die frei gemachte chemische Energie zur Entfaltung gebracht wird. Die Kette enthält noch Lücken. Was wir wissen, ist folgendes: Nicht das im Muskel befindliche Glykogen, auch nicht dessen Baustein — der Traubenzucker — sind unmittelbar das Ausgangsprodukt einer einzelnen energetischen Entladung, sondern eine Verbindung von Traubenzucker mit Phosphorsäure, von EMBDEN *Lactacidogen* genannt. Seine Bildung müssen wir gleichsam als Auftakt bezeichnen, durch welchen der energiespendende Prozeß vorbereitet wird. Wenn die Erschütterung des labilen Systems in Form

eines Nervenreizes eintritt, so zerfällt das Lactacidogen in Milchsäure und Phosphorsäure. Mit dem Erscheinen der beiden Säuren ist ein wesentliches Moment gegeben, welches auf bestimmte Teile des Muskelsubstrates so wirkt, daß eine räumliche Umlagerung seiner Massenteilchen im Sinne einer Verkürzung erfolgt. Dies ist die *erste Phase des Arbeitsprozesses*.

Allerdings weisen BETHE und VERZÁR auf Unzulänglichkeiten dieser Säuretheorie hin; vielleicht sind die von ihnen namhaft gemachten Widersprüche aber doch nicht unüberbrückbar! Soviel ist aber sicher, daß die frei gewordene Phosphorsäure sehr rasch wieder verschwindet. Sie wird zur Vorbereitung einer neuen Entladung sofort wieder zu Lactacidogen synthetisiert. Die Umwandlungen, welchen die Milchsäure unterliegt, nehmen einen trägeren und komplizierteren Verlauf. Die Milchsäure wird zuerst von dem Orte ihrer verkürzenden Wirkung an andere Stellen im Muskelsubstrat abgezogen, welche zum Teil durch die Gegenwart eines Alkaliproteins ein erhebliches Milchsäurebindungsvermögen besitzen. Durch die Entfernung der Milchsäure aus den sog. Verkürzungsorten wird die *Erschlaffung* als *zweite Funktionsphase* eingeleitet.

Es ist die Aufgabe einer dritten Phase, die Milchsäure aus ihren sekundären Aufenthaltsorten zu entfernen. Hier greift nun Verbrennung ein. Es überraschte, durch MEYERHOF zu erfahren, daß nur ein kleiner Teil der Milchsäure oxydiert wird. Die Hauptmasse wird in Glykogen verwandelt und so von neuem energetischen Aufwendungen zur Verfügung gestellt. Ideal vom Standpunkt der Energieökonomie wäre eine *vollständige* Rückwandlung der Milchsäure; dann hätten wir das Perpetuum mobile! Es *muß* ein Anteil der Milchsäure im Verbrennungsprozeß geopfert werden, damit bei der Verbrennung mindestens so viel Energie frei wird, als die endotherme Synthese von Glykogen aus Milchsäure absorbiert. Ein weiterer Energiebetrag muß bereitgestellt werden, um die Milchsäure aus ihren sekundären Bindungsorten herauszulösen. Schließlich verlangt eine rasche Überwindung der Umlagerungswiderstände einen gewissen Überschuß an Energie. Der ganze Vorgang der Milchsäurebeseitigung ist die *dritte Funktionsphase*, gekennzeichnet durch die Restitution zu der vollen Leistungsfähigkeit.

Nicht alle Milchsäure erfährt ihre Verarbeitung in der Muskelfaser, in welcher sie entstanden ist. Ein Teil geht ins Blut. Wir werden darauf noch zu sprechen kommen.

Es ist für die Sicherung der referierten Vorstellungen über die Vorgänge in der tätigen Muskelfaser wichtig, daß ein bis jetzt noch nicht berührter Erscheinungskomplex mit ihnen im besten Einklang steht, nämlich das *thermische Verhalten* des tätigen Muskels, wie es durch HILL und HARTREE mit erstaunlicher Präzision erforscht worden ist. Auch in der Wärmeentwicklung eines zuckenden Muskels lassen sich drei Phasen unterscheiden. Die erste Phase fällt mit der Verkürzung zusammen. Es handelt sich offenbar um den Zerfall des Lactacidogens in Milchsäure und Phosphorsäure. Eine neue Wärmewelle steht in zeitlicher Beziehung zum Erschlaffungsprozeß. Man muß sie mit dem Bindungsprozeß der Milchsäure in Zusammenhang bringen. Schließlich kommt eine langgezogene dritte Phase, welche HILL je nach Umständen bis zu zwanzig Minuten, ja sogar bis zu einer Stunde verfolgen konnte. Diese Wärme entspricht offenbar dem *Teil der Energie*, welcher im Verlauf der Milchsäurebeseitigung für die Überwindung der Verlagerungswiderstände gebraucht wird.

Greifen wir die wichtigsten Punkte aus der Kette der Vorgänge heraus, so stellen wir nochmals fest, daß die vom Muskel hergegebene Energie sich *nicht direkt* durch einen Verbrennungsprozeß entwickelt. Die Verbrennung greift nur so ein, daß sie Spannkräfte regeneriert, die im eigentlichen Arbeitsakt losschnellen.

So hoch die eben referierten Forschungsergebnisse einzuschätzen sind, so dürfen wir uns aber doch nicht darüber täuschen, daß bis zur Erreichung des Punktes, wo der ganze Prozeß der Arbeitsbildung vom Anfangs- bis zum Endglied klar vor unseren Augen liegt, noch ein langer Weg ist. Neue Einblicke bringen die jüngsten Beobachtungen von EMBDEN und Mitarbeitern, indem sie eine wichtige Beziehung zwischen Permeabilitätsänderung der Muskelfasergrenzschicht und dem Lactacidogenstoffwechsel aufdecken. Danach hängt es vom Einfluß verschiedener Ionen auf den Quellungszustand von Kolloiden ab, ob in einem gegebenen Zeitpunkt Lactacidogen auf- oder abgebaut wird. Die erwähnte Permeabilitätsänderung spielt dabei die Rolle eines Regulators im Ionenaustausch zwischen indifferenten und differenten Lösungssubstraten.

Am wenigsten geklärt ist der spezielle Mechanismus, durch welchen schließlich die Phosphorsäure und Milchsäure oder — wie BETHE annimmt eine andere Verkürzungssubstanz — die Massenverlagerung im Innern der Verkürzungssubstanz herbeiführt. Wir kennen allerdings verschiedene Theorien. Am weitesten durchgearbeitet ist die Quellungstheorie von v. FÜRTH. Dieser Autor entwickelt eine Vorstellung, wie die Quellungskräfte als Verkürzungskräfte nutzbar gemacht werden können. Er zeigt auch, daß seine Hypothese mit einer ganzen Reihe von Erscheinungen der Muskelphysiologie im Einklang steht. Gleichwohl mag es uns scheinen, daß das Auftreten *richtungsorientierter Kräfte* tiefer in der molekulären Struktur der kontraktilen Substanz begründet liegt.

Wir kommen nun dazu, den Verkürzungsakt in seinem äußeren *Gebaren* zu kennzeichnen. Eine früheste Vorstellung glaubte, den gleichen Unterschied zwischen dem tätigen und ruhenden Muskel zu erkennen, wie zwischen einem straffen und schlaffen elastischen Band. Aber schon vor längerer Zeit ist es klar geworden, daß dieser Ver-

gleich durchaus nicht stimmt. Die Spannkräfte des erregten Muskels sind, wie speziell v. KRIES gezeigt hat, in viel komplizierterer Art von Belastungsbedingungen abhängig. Sehr beachtenswert sind in dieser Beziehung auch die jüngsten Beobachtungen von FENN, welcher auf die Existenz eines schon in der Organisation der einzelnen Faser gelegenen Mechanismus hinweist, durch welchen die Energieumwandlung durch die Belastung regulatorisch beeinflußt wird. Wir hätten darin eine unterste Stufe von Einrichtungen anzusehen, deren Endziel die vollendete Anpassung einer Muskelleistung an *Besonderheiten verschiedener Belastungsweisen* darstellt.

Gegenüber der Abhängigkeit des Muskels in bezug auf die bei einer Zuckung entwickelten Spannungen und Energiequanten ist die Starrheit des *zeitlichen Ablaufes* der Zuckung auffällig. Für einen gegebenen Muskel treten Veränderungen der Zuckungsdauer nur im Verlaufe von Zustandsänderungen ein, wie sie fortgesetzte Arbeit als Ermüdungserscheinung mit sich bringt. In der *Dauer der Einzelzuckung* kommen zwei widerstreitende Prinzipien zum Ausdruck. Einerseits besteht ein Interesse an einem möglichst raschen Ablauf; denn dadurch kommt die Faser in die Lage, dem ersten Hub sofort einen zweiten, einen dritten usw. folgen zu lassen. Dadurch können in gegebener Zeit hohe Hubleistungen erreicht werden. Das widerstreitende Interesse tritt in seiner extremen Form in Erscheinung, wenn von unserem Muskelapparat eine bestimmte *Halteleistung* gefordert wird. Je rascher die Kräfte der Einzelzuckung abklingen, um so größer muß die Zahl dieser Zuckungen sein, die zu einer *kontinuierlichen Halteleistung* verschmelzen. In diesem letzten Fall liegt der physiologische Vorteil offenkundig auf der Seite einer möglichst lang gezogenen Zuckungsdauer.

Mit diesem Hinweis gewinnen wir ein Verständnis dafür, weshalb die Zuckungsdauer für den einzelnen (frischen) Muskel zwar eine Konstante darstellen kann, daß diese Funktionsgröße aber je nach der *Muskelart* verschieden ist. Wir müssen darin eine Anpassung an Verschiedenheiten in der Art der physiologischen Beanspruchung verschiedener Muskeln erblicken. Der Gedanke, daß sich vielleicht durch vegetative Reizqualitäten für ein und denselben Muskel temporär Veränderungen am Zeitfaktor herbeiführen lassen, hat sich nach unseren Untersuchungen nicht bestätigt.

Beim Hinweis auf die physiologische Bedeutung der Zuckungsdauer haben wir den Unterschied zwischen Hub- und Halteleistung eines Muskels betont. Damit ist ein Thema berührt, das heute ausgiebig in Diskussion steht, nämlich das *Tonusproblem*. Es findet an dieser Tagung von berufener Seite eine gesonderte Behandlung. Aus diesem Grunde glauben wir richtig zu handeln, uns zu begnügen, hiermit den Zusammenhang der speziellen Fragen mit unserem allgemeinen Thema hergestellt zu haben.

Die befristete Spannungswelle, welche wir Zuckung nennen, ist das dynamische Element jeder muskulären Arbeitsleistung.

Ein erster Schritt zur *Gestaltung einer Zweckhandlung* ist die Bildung von *zeitlich beherrschten* Zuckungsserien im Sinne der tetanischen Verkürzung. Die Weiterentwicklung geht so, daß durch die Führung der Gelenke die Zugsrichtung der einzelnen Muskeln in *wechselnde Komponenten* zerlegt wird. So gewinnt der Bewegungsapparat an Mannigfaltigkeit möglicher Bewegungsrichtungen. Die Mannigfaltigkeit wird dadurch noch weiter erhöht, daß sich aus den Zugrichtungen verschieden kombinierter Muskeln *Resultanten* bilden. Durch das *Aneinanderreihen* so hervorgebrachter Bewegungseinzelakte entstehen schließlich die physiologischen *Zweckhandlungen*.

Diese wenigen Sätze, durch welche wir die Prinzipien des mechanischen Aufbaues zielgerichteter Arbeitsleistungen umschrieben haben, lassen uns nicht ahnen, welch hoher Grad von Vollkommenheit in der Funktion des Innervationsapparates liegen muß.

Schon die Erreichung eines sehr einfachen Bewegungszieles erweist sich bei näherer Analyse als höchst kompliziert. Denken wir z. B. an die gewiß einfache motorische Äußerung einer Augenbewegung beim Blick auf die Seite. Unter bestimmten Verhältnissen kann hier ein einfacher Muskelzug genügen. Wir wissen zwar, daß ein solcher nicht ausgeführt wird, ohne ein koordiniertes Nachlassen im Gegenzug des *Antagonisten*, dessen Mitfunktion die *Zwangsläufigkeit* der Bewegung sichern hilft. Schon im nächsten Moment einer kleinen Wendung ist die Situation für die Bewegungsinnervation verschoben. Mit der Bewegung *wandern* die Angriffspunkte und Angriffsrichtungen der einzelnen Muskeln, im konkreten Fall z. B. auch der Heber und der Senker des Auges. Mit dieser Verschiebung muß sich der Innervationsapparat irgendwie abfinden, ansonst eine genau dosierte Zielhandlung nie zustande kommen kann.

Fassen wir den Bewegungsapparat einer oberen Extremität ins Auge, und versuchen wir hier, eine etwas kompliziertere Bewegungsform in ihre Einzelheiten zu zerlegen, dann erst steigt in uns eine Ahnung auf, was unser Organismus in der Betätigung des Bewegungsapparates leistet.

Unsere Erfahrungen sind noch nicht so weit, daß wir die ordnenden Kräfte, welche bei Muskelarbeit zur Geltung kommen, alle kennen. Aber manches ist uns doch schon vertraut, vor allem dank den Arbeiten zahlreicher Forscher, von denen ich nur EXNER, SHERRINGTON und vor allem v. MONAKOW nennen will. Wertvolle Beiträge aus neuester Zeit verdanken wir ferner PAUL HOFMANN und v. WEIZSÄCKER.

Für die Synthese einer zielgerichteten Bewegung ist es wichtig, daß schon in der anatomischen Anordnung einzelner Muskeln Synergismen vorgesehen sind. Ihre Auswirkung ist die sog. *muskuläre Koordination* von BAYER. In bezug

auf die *innervatorische Koordination* kann heute kein Zweifel mehr darüber bestehen, daß die Innervation irgendwelcher koordinierter Bewegung *nicht von einer* Stelle bzw. einem zirkumskripten Gebiete des Zentralnervensystemes ausgeht. Immer handelt es sich um das Ineinandergreifen von über- und untergeordneten Innervationsschichten, von denen die unteren Schichten die einfacheren Bewegungselemente gestalten, die höheren durch verschiedenartige Kombinationen die komplexeren Bewegungsakte. Diese werden ihrerseits wieder von den obersten Innervationsschichten als Bausteine verwertet und zu fortlaufenden Zweckhandlungen zusammengestellt. Wesentlich für die richtige Einschätzung dieses *sukzessiven Aufbaues* ist der speziell durch MONAKOW betonte Hinweis auf die sog. *chronogene Lokalisation*, wobei die Gliederung der Innervation die phylogenetische und auch ontogenetische Rangfolge im Erwerb der einzelnen motorischen Fähigkeiten widerspiegelt. Mit dieser Auffassung ist ausgesprochen, daß es der ganzen phylogenetischen Entwicklungszeit bedurfte, um vom Auftreten elementarster Bewegungsformen schrittweise unsere mannigfaltige Bewegungsmöglichkeit zu erreichen. Nur so können wir überhaupt verstehen, daß die bildende Natur in der Innervation des Skelettmuskelapparates einen so hohen Grad von Organisation zu schaffen vermochte.

Eine entscheidende Rolle für die Erreichung einer fein abgestuften Koordination spielt die Mitarbeit des sensorischen Apparates bei der Gestaltung von Zielbewegungen. Die äußeren Widerstände, denen unsere Bewegungen begegnen, sind selbst bei bekannten Situationen von Fall zu Fall etwas verschieden. Eine auf einen *bestimmten Endeffekt* gerichtete Arbeitsleistung ist aber nur möglich, wenn mit diesen Widerständen gerechnet werden kann. Deshalb wacht im ganzen Verlauf der Handlung die sensorische Kontrolle über die auftretenden Spannungen und den Fortgang der Bewegungen. Das Resultat der Kontrolle kommt je im nächsten Augenblick schon bei der Dosierung der Innervation modifizierend und modulierend zur Geltung. Dies ist das Prinzip der sog. sensomotorischen Innervationsweise. Anklänge an dieselbe scheinen, wenn wir Beobachtungen von F. B. HOFMANN und von FENN richtig interpretieren, bereits in der Muskulatur zu stecken. Wichtig sind vor allem aber die von PAUL HOFMANN näher studierten Eigenreflexe der Muskeln. Diese treten dann in Erscheinung, wenn die Zugspannung eines Muskels plötzlich zu- oder abnimmt. In beiden Fällen antwortet die Innervation im Sinne einer Kompensation der Spannungsänderung: Der Spannungszuwachs wird beantwortet mit Akzentuierung der Gegenspannung, der Spannungsabfall mit ausgleichender Verringerung der Gegenspannung. Der Erfolg des Eingreifens dieser lediglich durch das Rückenmark vermittelten Reflexe ist eine *Glättung der Unebenheiten unserer Bewegungen*, wie sie sonst durch unvermutete Widerstände herbeigeführt würden. Die Leistungsfähigkeit der Reflexe wird dadurch noch erhöht, daß die Reflexe durch Willkürinnervation gebahnt werden, so daß sie besonders leicht in die innervierten Muskeln ihren Weg finden.

PAUL HOFMANN hat diese Reflexe als streng auf den Muskel lokalisiert angesehen. Nach neuesten Untersuchungen von WACHHOLDER und ALTENBURGER scheinen die Reflexeimpulse aber auch in das Innervationsgebiet der Antagonisten überzuspringen, d. h. im Sinne eines gegensätzlichen Bewegungsimpulses.

In der Regulierung der Bewegung haben auch die von WEIZSÄCKER beschriebenen *adaptierenden Reflexe* ihren Anteil. Wir sehen sie, wenn auf das Andrängen eines *großen* Widerstandes die Muskelspannung reflektorisch gehemmt wird. Wodurch diese Umkehr des Effektes gegenüber dem Eigenreflex bestimmt wird, ist experimentell noch nicht entschieden. Es ist vielleicht die Intensität bzw. die Steilheit des Spannungszuwachses im auslösenden Reiz. Der Sinn der adaptierenden Reflexe ist klar. Wo die Bewegung auf *unüberwindbare* Widerstände trifft, wird sie abgebrochen bzw. rückläufig geführt. Es handelt sich also gleichsam um eine elementare Erscheinungsform des Prinzipes: „Der Gescheitere gibt nach."

Eine Stufe höher im geschichteten Aufbau der Bewegungsinnervation liegen die sog. Fremdreflexe. Sie sind die Antwort einer *Gruppe* von Muskeln; sie sprechen auf Reize an, welcher *fern* von diesen Muskeln angreifen können, z. B. an der Haut. Die Modifizierbarkeit der Fremdreflexe zeigt, daß ihre Innervation mannigfachen Einflüssen speziell von seiten höherer Abschnitte des Zentralnervensystemes zugänglich ist. Zu den komplexeren Reflexen, welche für die Bewegungsmechanik indirekt wichtig sind, gehören z. B. auch die von MAGNUS und DE KLEYN näher studierten Stellreflexe, welche die Einhaltung der Körperstellung automatisch regulieren.

Über der Summe übereinander geordneter und parallel geschalteter Reflexfunktionen, welche durch ihr *Einfühlen in die Bewegungswiderstände* unseren motorischen Äußerungen *Plastizität* verleihen, steht das Innervationsprinzip, welches der *Handlung die weiter gesteckten Direktiven* gibt. Damit kommen wir in eine Schicht innervatorischer Erscheinungen, in welcher das *Bewußtsein* die führende Rolle übernimmt. Es ist gewiß, daß auch auf diesem hohen Niveau das Schema des Reflexes die Grundlage darstellt, auf welcher die nervösen Impulse ihren Weg finden. Die uns durch die höheren Sinnesorgane vermittelten Reize spielen eine wichtige Rolle als anregende und steuernde Impulse. Das Spiel dieser Nervenenergien ist aber weit davon entfernt, einem *starren Gesetze* zu folgen. Mit Recht betont DURING mehrfach den großen Einfluß der Stimmung auf unsere Arbeitsbereitschaft und auch auf die Qualität der Arbeit. Allerdings unterliegt auch die Stim-

mung wieder den Einflüssen von außen. Wir erinnern an die bei rhythmischem Arbeitstakt mitreißende Gewalt der Musik. Jeder kennt aber auch aus seinem persönlichen Leben, wie erheblich die Stimmungen und Gedanken von inneren Faktoren abhängen, deren Quelle wir nicht kennen. So muß es eine offene Frage bleiben, welche Kräfte unserem sog. bewußten Willen das zu wählende Arbeitsziel aufzeigen und die Bewegungen in der Richtung dieses Zieles steuern. Dieses Rätsel fließt in das große Rätsel des Bewußtseins und der Seele über.

Entscheidend für die Vollkommenheit, mit welcher ein vorgenommenes Arbeitsziel erreicht wird, ist die *Übung*. Sie tritt dann ein, wenn die gleiche Handlung häufig wiederholt wird. Der Einfluß der Übung macht sich schon an *Muskel* und *Skelett* geltend. Die Anpassung der Gelenkformation an die Art der Beanspruchung z. B. beim jugendlichen Violinspieler ist bekannt, ebenso die z. T. anatomisch bedingte Zunahme der Leistungsfähigkeit der häufig beanspruchten Muskulatur des Sportbeflissenen. Im Vordergrund steht beim Zustandekommen der Übung aber eine zielspezifische Einstellung des *Innervationsapparates*. Die wiederholt beanspruchten Reflexbahnen werden ausgeschliffen, so daß die Ablenkung der Impulse nach Seitenwegen immer mehr verhindert wird. Die sensorische Kontrolle baut in die Grundreflexe feiner gestufte Hilfsreflexe ein. Die vorerst nur unter der Leitung des Bewußtseins möglichen Handlungskombinationen werden *automatisiert* im Sinne von sog. bedingten Reflexen. Infolge ihrer Automatisierung kann sich die Aufmerksamkeit feineren Einzelheiten in der Ausgestaltung der Zweckhandlung zuwenden.

Durch diese Ausarbeitung des Innervationsapparates wird eine feinere Abstufung in der *Kräftedosierung*, eine höhere Präzision in der *zeitlichen Folge* von Teilhandlungen und eine größere Treffsicherheit in den *Bewegungsrichtungen* erreicht. Der Erfolg ist eine größere Vollkommenheit des Arbeitsproduktes, eine größere Ausdauer in der Arbeit und eine bessere Ökonomie der aufgewendeten Energie. Diese letztere beruht im wesentlichen noch auf der Ausschaltung unnützer Nebenbewegungen und in der Einstellung auf optimale Handlungsgeschwindigkeit.

Nicht außer acht zu lassen sind in bezug auf den Einfluß der Übung Anpassungserscheinungen auf dem Gebiete vegetativer Hilfsfunktionen, auf welche wir nun zu sprechen kommen. — Wir haben erfahren, daß im arbeitenden Gewebe Milchsäure entsteht. Die begrenzte Kapazität des Substrates der Milchsäurebindung setzt der anaeroben Arbeitsfähigkeit des Muskelgewebes eine Grenze. Zutritt von Sauerstoff verschiebt diese Grenze, weil er die Beseitigung der Milchsäure veranlaßt. — Die Muskelfasern befinden sich intra vitam nun tatsächlich in einem Milieu, in welchem ihnen Sauerstoff zur Verfügung steht. Dieser Sauerstoff wird innerhalb physiologischer Grenzen um so begieriger aufgenommen, je höher die Milchsäurekonzentration ist, und zwar wächst nach HILL die Sauerstoffzehrung in quadratischer Progression mit der Milchsäurekonzentration.

Als Folge der funktionellen Beanspruchung der Muskulatur muß sich also der Sauerstoffspiegel im Diffusionsbereich der einzelnen Muskelfasern absenken. Dagegen steigt der Kohlensäurespiegel. Durch diese Veränderungen im Lebensraum der Funktionselemente des Muskelgewebes droht die Leistungsfähigkeit rasch abzufallen. Daß dies in Wirklichkeit nicht eintritt, dafür sorgt ein weiterer Regulationsmechanismus, welcher die *Durchblutung* den erhöhten Ventilationsansprüchen des Gewebes anpaßt. Aus dem Umfang des gesteigerten Gaswechsels bei Muskelarbeit können wir ableiten, daß wir ohne diese Hilfsmechanismen in fortlaufender Arbeit zu kaum dem 10. Teil unserer tatsächlichen energetischen Aufwendung befähigt wären.

Eine so entscheidende Rolle, welche diese Regulatoren für eine wirksame Betätigung des Skelettmuskelapparates spielen, begründet es, daß wir auch ihren Mechanismus in den Kreis unserer Betrachtung ziehen. Wir begeben uns damit in ein tieferes Niveau regulatorischen Geschehens. Zur Erläuterung dieses Hinweises stellen wir nochmals fest, daß durch die Funktion unseres animalen Arbeitsapparates die Wechselbeziehungen zwischen *Individuum und Umwelt* reguliert werden, daß dagegen durch die Vorgänge, die wir jetzt studieren, die *Umgebungsbedingungen der Gewebselemente* als den Funktionseinheiten einer nächst niederen Organisationsstufe eingestellt werden.

Ein erster Akt zur Aufrechterhaltung günstiger Funktionsbedingungen ist die Erweiterung der *Capillaren* und vor allem, wie KROGH gezeigt hat, auch die Steigerung der Zahl der für den Blutstrom durchgängigen Capillaren. Ein Haupteffekt der Capillarerweiterung ist die Entfaltung der Kontaktfläche zwischen Blut und Gewebe. Die Ventilationsfläche wächst und schrumpft proportional mit dem durchschnittlichen Radius der Capillaren.

Ein zweiter Akt der Steigerung der Gewebeventilation ist die Vergrößerung des dem arbeitenden Gewebe in der Zeiteinheit zugeleiteten *Blutvolumens*. Auch hierbei können die Capillaren aktiv eingreifen, aus mechanischen Gründen aber nur in bescheidenem Umfang. Die wirksameren regulatorischen Kräfte liegen stromaufwärts. Die *Arterienmuskulatur* repräsentiert den dynamischen Faktor.

Die *ungleiche* Betätigung verschiedener Skelettmuskelgruppen bei verschiedenen Arbeitsformen stellt die Kreislaufregulierung vor die Aufgabe einer nach einzelnen Muskeln und Muskelgruppen differenzierenden Strömungsregulierung. Wir dürfen die Tatsache, daß diese Aufgabe unter feinster Abstufung vollzogen wird, nicht unterschätzen. Denn wenn wir versuchen, auf die Dynamik des Gefäßmuskelapparates einzugehen, so wiederholt sich der Eindruck außerordentlicher Kompliziert-

heit der mechanischen Verhältnisse, geradeso wie wir sie beim Skelettmuskelapparat festgestellt haben. Die Innervation, welche auch hier Herr der Situation wird und eine treffsichere Steuerung des Blutstromes besorgt, muß auf viel höherer Stufe der Organisation stehen, als nur eine *qualitative Betrachtung* der Zirkulationsvorgänge annähernd vermuten läßt. Wir betonen dies speziell unter dem Hinweis, daß auf dem Gebiete der *Funktionsstörungen* dieser Einrichtungen noch fast alles zu erforschen ist.

Die Aufgabe, in deren Dienst die Arterienmuskulatur gestellt ist, bleibt unvollendet, wenn ihre Betätigung nicht von anderen Maßnahmen der Zirkulationsregulierung begleitet ist. Hierzu gehört vor allem eine Steigerung des Minutenvolumens des Herzens. Mit der Aktivierung der Herztätigkeit muß eine Verlagerung der venösen Blutmasse in Herznähe verbunden sein. Denn nur dadurch, daß dem Herzen eine ausgiebige und rasche Blutaufnahme vorbereitet wird, kann sich die Aktivierung seiner Tätigkeit in einer gesteigerten Förderleistung auswirken.

Eine Begleiterscheinung der Umstellung des Zirkulationsapparates auf gesteigerte Blutzufuhr zur arbeitenden Muskulatur ist eine Blutdrucksteigerung, d. h. wenn die Arbeit über ein leichtestes Maß hinausgeht. Die Blutdrucksteigerung ist dadurch verursacht, daß das vom Herzen geförderte Minutenvolumen in rascherer Proportion steigt, als die Widerstände im Bereich der arbeitenden Muskulatur abnehmen. Die Folgen der Blutdrucksteigerung ist eine Erhöhung des Druckgefälles und damit eine Beschleunigung des Blutstromes. So wird der Erfolg der Gefäßerweiterung unterstützt. Ein äußerlich erkennbares Symptom der mit Blutdrucksteigerung einhergehenden Vermehrung der totalen Zirkulationsgröße ist die Zunahme der Pulsfrequenz bei Körperarbeit. Pulszahlen von 180 sind, in Verbindung mit intensiver Körperarbeit auftretend, physiologisch.

Die mechanische Situation der Zirkulationsregulierung ist klar. Ein Teil der sie beherrschenden Innervation ist uns in der Form von bestimmten Gefäßreflexen bekannt. Etwas zögernd sind die Versuche, sie einem einheitlichen Funktionsplan einzureihen. Ein Pfeiler derselben scheint die Erkenntnis zu sein, daß alle Mittel, durch deren Betätigung die Leistungsfähigkeit des animalen Apparates erhöht wird, dem Sympathicus in die Hand gegeben sind. Dieser Vorstellung fügen sich auch die Effekte des nach Art des Sympathicus wirkenden Reizstoffes — des *Adrenalins* — ein.

CANNON und seine Mitarbeiter haben gezeigt, daß schon die Eigenschaften der Muskelfasern von Adrenalin in günstigem Sinne beeinflußt werden. Die durch Adrenalin bewirkten Umstellungen im Kreislauf entsprechen denjenigen, die wir eben als mit körperlicher Arbeit verbunden gekennzeichnet haben. In den Rahmen dieser Vorstellung paßt schließlich die Zuckerausschüttung durch Adrenalin.

Es ist auch durch Versuche von CANNON und Mitarbeitern gut begründet, daß bei Situationen, in welchen vom Körper große Arbeitsforderungen verlangt werden, tatsächlich Adrenalin in erhöhtem Maße an das Blut abgegeben wird. Durch diese Autoren ist ferner bewiesen, daß funktionelle Eliminierung der Nebenniere die Leistungsfähigkeit eines Tieres stark schädigt.

Es bleibt noch die Frage, welches die Reize darstellen, welche diese verschiedenen regulatorischen Mittel zur Funktion rufen. Sicher sind dabei quantitative und qualitative Änderungen der Stoffwechselprodukte des im Arbeitszustand befindlichen Muskels beteiligt. Eine besonders wichtige Rolle scheint nach Versuchen von FLEISCH und von uns Säureanhäufung zu spielen, welche ja — wie wir gesehen haben — auch die Geschwindigkeit der Milchsäureverbrennung in der Muskelfaser beherrscht und durch die, wie wir noch hören werden, ferner die Atmungstätigkeit reguliert wird.

Es kann für uns kein Zweifel sein, daß die Reize ihre Wirksamkeit durch Vermittlung spezifischer, vegetativer Sensibilitäten entfalten. Auch auf dem Gebiete der vegetativen Funktionen ist die fortlaufende sensorische Kontrolle eine *Vorbedingung erfolgreicher Zielhandlungen*. Leider müssen wir darauf hinweisen, daß dem Gebiet der vegetativen Sensibilitäten trotz ihrer prominenten Bedeutung noch sehr geringe Aufmerksamkeit entgegengebracht wird.

Als Reize zur Aktivierung der zirkulatorischen Hilfsapparate müssen auch die Impulse angesprochen werden, welche parallel zur Innervation der Muskulatur vom Cortex an die vegetativen Zentren abgegeben werden. BAINBRIDGE legt dieser Innervation ein großes Gewicht bei. Nach unserer Auffassung handelt es sich eher um sekundäre Effekte vom Charakter bedingter Reflexe.

Den regulatorischen Vorgängen im Bereich des Zirkulationsapparates geht eine Umstellung der Atmungsfunktion auf ein Niveau höherer Tätigkeit parallel. Erst dadurch wird es überhaupt möglich, daß die Vorgänge der Kreislaufregulierung zu einem Erfolg führen. Mit erhöhter Atmung der Gewebe müssen die Bedingungen für einen gesteigerten Austausch der Atmungsgase in den Lungenalveolen hergestellt werden.

Tatsächlich folgt die Steigerung des Ventilationsbetriebes fast momentan mit dem Einsetzen der körperlichen Arbeit. Ja im Falle von Arbeitserwartung kann schon — offenbar als bedingter Reflex — vorgreifend die Atmung — wie übrigens auch der Kreislauf — etwas aktiviert werden. Der Erfolg der Atmungsregulierung ist so gut, daß der Sauerstoffgehalt des Blutes nach HIMWICH und Mitarbeitern sogar ansteigen kann, sofern nicht gewisse Grenzen der Muskelleistungen überschritten werden.

Wichtiges bietet die Frage des Kohlensäureaustausches zwischen Blut und Alveolarluft. Zu Anfang einer Arbeitsperiode werden so große

Mengen von Kohlensäure aus dem Blut abgestoßen, daß sie das Maß der Kohlensäurebildung im Gewebe übersteigen. Der Überschuß rührt von Abspaltung von CO_2 aus den Alkalicarbonaten des Blutes durch Milchsäure her; denn der Milchsäuregehalt des Blutes erfährt durch Übertritt aus dem Muskelgewebe eine starke Steigerung, so daß er auf den zehnfachen Betrag des normalen Gehaltes anwachsen kann. Infolge dieser Verschiebungen sinkt die Säurekapazität des Blutes schon wenige Minuten nach der Arbeit ab. Diese Abnahme überdauert das Ende der Anstrengung um einige Minuten. Nach BARR und Mitarbeiter ist nach starker Anstrengung erst nach ungefähr 1 Stunde Rückkehr zur Norm eingetreten.

In diesem Zusammenhang erhält eine Beobachtung Interesse, nach welcher der Milchsäuregehalt des Blutes aus Venen derjenigen Muskeln, die am Arbeitsprozeß *nicht* beteiligt sind, kleiner ist, als der Milchsäuregehalt des arteriellen Blutes. Dieses Verhalten ist offenbar so zu deuten, daß der ruhende Muskel in bezug auf Beseitigung der Milchsäure dem arbeitenden Muskel zu Hilfe kommt, daß mit andern Worten die ruhende Muskulatur die dritte Phase des Arbeitschemismus mitmacht.

Trotz des starken Ansteigens des Milchsäurespiegels verschiebt sich die H-Ionenkonzentration des Blutes nur unbedeutend nach oben. Die Pufferung des Blutes, mitbedingt durch das beschriebene Verhalten der Kohlensäure, kommt dabei zur Geltung. ARBORELIUS und LILJESTRAND machen hierüber quantitative Angaben.

Auch die Verschiebung der H-Ionenkonzentration überdauert die Arbeitsperiode. Das Abbild der rückläufigen Bewegung, einige Minuten nach Schluß der Arbeit einsetzend, ist die Abnahme der Ventilationsgröße. Nach den eben genannten Autoren besteht ein annähernder Parallelismus zwischen Wasserstoffionenkonzentration des Blutes und der Atmungsgröße. Diese Feststellung bedeutet eine quantitative Erweiterung der hauptsächlich durch WINTERSTEIN vermittelten Erkenntnis, daß die Reaktion des Blutes den Atmungsregulator darstellt. Die Rückkehr zur normalen Blutreaktion setzt nach BARR und Mitarbeitern etwa 3 Minuten nach Aufhören der Arbeit ein; in 8—30 Minuten ist sie vom normalen Zustand nicht mehr erkennbar verschieden.

In bezug auf die Atmungsregulierung in der Anfangsphase körperlicher Betätigung sei noch eine Erscheinung erwähnt, die speziell im Hinblick auf den Sport Interesse hat. Das bei intensivster Anstrengung bald auftretende Gefühl der Dispnöe gibt trotz einer ungeschwächten Fortsetzung der Leistung nach einiger Zeit wieder nach. Der Sportsmann spricht bei dieser Erscheinung von dem „second wind." Es scheint, daß eine anfängliche Kohlensäurestauung im Blut mit im Spiele ist. Vielleicht hilft auch eine dyspnoetische Herabsetzung der Atmungswiderstände beim Zustandekommen des Erleichterungsgefühles mit. Dieser Hinweis ist angebracht, weil ja Sympathicusreiz und Adrenalin, deren Beziehung zum Arbeitsakt wir betont haben, bekanntlich die Bronchialmuskulatur zum Erschlaffen bringen; ob und inwieweit die Pulmonalgefäße bei der Begünstigung der Blutventilation mitmachen, ist noch ungeklärt.

Das Spiegelbild der Ausschwemmung der Blutkohlensäure zu Beginn einer Arbeitsperiode ist Kohlensäure*retention* nach dem Absetzen der Arbeit. Sie kommt dadurch zustande, daß die Beseitigung der Milchsäure wieder Alkalien frei gibt. Diese Tatsache gibt HILL den Angriffspunkt einer interessanten Rechnung. Aus der während der Erholung des erschöpft gewesenen Individuums retinierten *Kohlensäuremenge* bestimmt er das Total der in dieser Phase verschwindenden *Milchsäure*. Der Überschuß des über den Ruhewert hinaus verbrauchten *Sauerstoffs* zeigt ihm hingegen an, wieviel von dieser Milchsäure *verbrannt* ist. Wir müssen es als einen Erfolg physiologischer Forschungsmethoden buchen, daß dabei das *in vivo vom Menschen* erhaltene Resultat dasjenige von MEYERHOF am *Froschmuskel* gefundene Verhalten der verschwindenden Milchsäure bestätigt: Nur der 4. bis 6. Teil wird verbrannt! Und noch eine andere Berechnung knüpft an die Untersuchungen der Atmungsgase an: Aus der Menge des in toto verbrauchten Sauerstoffes läßt sich nämlich unter Bezugnahme auf das Quantum geleisteter Arbeit der Wirkungsgrad unserer Muskelmaschine berechnen. Derselbe ist unter günstigen Leistungsbedingungen ungefähr auf 24—28% zu veranschlagen. Bedeutend niedrigere Werte sind aber auch keine besondere Ausnahme.

Wir schließen die Ausführungen über die Atmung bei Körperarbeit mit einem Hinweis auf das Verhalten des respiratorischen Quotienten als dem Verhältnis der abgegebenen CO_2 zum aufgenommenen O_2 ab. CATHARD und Mitarbeiter haben hierüber genaue Untersuchungen ausgeführt. In den Daten kommt die bekannte Tatsache zum Ausdruck, daß bei normalem Körperbestand der energieliefernde Betriebsstoff Kohlenhydrat ist. Wenn der respiratorische Quotient vor der Arbeit niedrig ist, so steigt er, sich dem Werte 1 nähern dan.

Als starke Störung für eine eindeutige Interpretation des Respirationsquotienten machen sich die bereits beschriebenen Verschiebungen im Kohlensäuregehalt des Blutes geltend.

Noch bleiben einige Hilfsmechanismen kurz zu erwähnen, welche im arbeitenden Organismus in Funktion treten, allerdings nicht mit der Zwangsläufigkeit, wie die Zirkulations- und Atmungsregulierung. Wir erinnern uns, daß ein erheblicher Teil der im Muskel umgesetzten Energie in Form von Wärme erscheint. Je nach den Bedingungen der Wärmeabgabe wird dadurch die Körpertemperatur beeinflußt. Es sind Steigerungen der Körpertemperatur von 1° und mehr bei intensiver Körperarbeit gemessen worden. Unter solchen Umständen ist es begreiflich, daß Mechanismen zur Steigerung der *Wärmeabgabe* in Gang gesetzt

werden. Hierher gehört die Anregung der Schweißsekretion als einer allerdings von den äußeren Bedingungen erheblich abhängigen Begleiterscheinung körperlicher Arbeit. Beachtenswert ist, daß die Beanspruchung der Zirkulation von seiten der Temperaturregulierung die Blutversorgung der Muskulatur in einem gewissen Ausmaß beeinträchtigt.

Locker gebunden sind auch die Einflüsse des Arbeitszustandes auf den Verdauungsapparat. Hier treten nur in den anstrengendsten Arbeitsperioden Hemmungen in Erscheinung, in erster Linie in bezug auf die Blutversorgung und damit — wahrscheinlich koordiniert — Hemmung der Verdauungsdrüsen. Wir finden die richtige Basis für die Einschätzung dieser Umstellungen, wenn wir uns daran erinnern, daß jede Einsparung an Blutverbrauch im gleichen Sinne wirkt, wie eine Steigerung der Förderleistung des Herzens.

Vom gleichen Standpunkt aus beurteilen wir auch die durch MC KEITH und Mitarbeitern beschriebene Hemmung der Nierentätigkeit bei Wettlauf, welche ausdrücklich unabhängig von den Temperaturbedingungen gefunden worden ist. Es ist klar, daß solche Hilfsmechanismen, welche mit mehr oder weniger ausgesprochener Hemmung einzelner Organfunktionen einhergehen, nur befristet in Erscheinung treten können. Sie sind den Perioden sog. Spitzenleistungen vorbehalten.

Bei Bezugnahme auf die Nierentätigkeit ist noch in Kürze ein Hinweis darauf geboten, daß in der Arbeit auch die Harnzusammensetzung eine qualitative Änderung erfährt. Es sind gemäß den Befunden von SCHULZ und K. HARTMANN Änderungen des Kreatinin-, Harnsäure- und Phosphorsäuregehaltes zu beobachten. Die Kontrolle des Harnes in der Nach-Arbeitsperiode zeigt aber, daß es sich hier nur um *zeitliche Verschiebung* in der Abgabe der Stoffe handelt.

Wir kommen zu einer letzten Erscheinung, welche im Zusammenhang mit der Verrichtung körperlicher Arbeit steht — zur *Ermüdung*. Wir vermissen sie, wenn wir frisch an ein Arbeitspensum herangehen. Sie tönt an, wenn eine stärkere Arbeitsausgabe oder eine längere Ausdauer verlangt wird. Sie erhält schließlich eine so intensive Betonung, daß wir uns in der Fortsetzung der Körperarbeit dringend nach ihr richten müssen. Wenn ein ausgeschnittener Muskel fortgesetzt gereizt wird, werden seine Zuckungen nach und nach kleiner. Schließlich kommt er in einen Zustand, in welchem er überhaupt nicht mehr anspricht. Der Muskel ist ermüdet — *nein*, er ist *erschöpft*. Zwischen Ermüdung und Erschöpfung besteht ein prinzipieller Unterschied. Im erschöpften Zustande tritt ein absolutes Unvermögen zur Arbeitsleistung zutage. Die Ursache liegt darin, daß die Zustände im Innern des Muskels oder des Nervensystems sich derart verschoben haben, daß eine Fortführung der Leistungen aus chemischen und physikalisch-chemischen Gründen nicht mehr erfolgen kann. Die Ermüdung dagegen ist der Ausdruck einer *regulatorischen Hemmung*, welche von der Arbeit zurückhält, um vor Erschöpfung zu *schützen*.

Denn mit der Erschöpfung treten *irreversible* Zustände, sog. Schädigungen im Gewebe auf. Die Pathologie kennt solche Zustände, welche durch Versagen des Ermüdungsschutzes oder durch eine gewaltsame Durchbrechung herbeigeführt werden. Sie sind durch Auftreten einer Abnutzung überlasteter Gewebselemente gekennzeichnet.

Die Ursachen für die durch Ermüdung relativ bedingten Leistungsbeschränkungen sind offenbar nicht nur in den Muskeln zu suchen, wohin wir sie subjektiv nach körperlicher Arbeit vorwiegend lokalisieren. Hemmungen können dort am ausgiebigsten ihre Wirkungen entfalten, wo die Impulse zur Arbeitsleistung ausgegeben werden, also im Innervationsapparat. Es ist längst bekannt und KRAEPELIN betont es, daß das Nachlassen der Arbeitsintensität bei Ermüdung in erster Linie eine sog. *Willensermüdung* darstellt, also eine Hemmung der obersten Impulsqualitäten. Aber auch von Reflexen wissen wir, daß sie ermüden, allerdings um so weniger, je tiefer sie liegen. So macht P. HOFMANN die schwere Ermüdbarkeit der Eigenreflexe direkt zu einem Charakteristikum gegenüber den komplexen Fremdreflexen. Daß der Innervationsapparat und nicht die Muskulatur in erster Linie der Angriffspunkt der Ermüdung ist, dafür spricht auch der Befund, daß sich nach ALTENBURGER das Aktionsstrombild des Muskels erst dann erkennbar verändert, wenn die Bewegungen bis zu einem Punkt fortgesetzt werden, wo die arbeitenden Muskeln schmerzhaft werden.

Wir erkennen in diesen Versuchen auch den Hinweis, daß schließlich der Muskel aber doch von der Ermüdung mitergriffen wird. Die Richtigkeit der Annahme geht auch aus Versuchen von V. BRÜCKE hervor, welcher mit einer äußerst fein reagierenden Methode eine Zunahme der Refraktärperiode bei vorschreitender Ermüdung nachgewiesen hat. Als auffallend und schwer zu verstehen sind in diesem Zusammenhang noch Beobachtungen von ASHER zu erwähnen, nach welchen eine durch Tetanisierung herbeigeführte periphere Ermüdung nicht gleichzeitig Ermüdung auf einzelne Reizimpulse bedeutet.

Wenn wir über den physiologischen Zweck der Ermüdungshemmungen als einer Schutzvorrichtung nicht im Zweifel sind, so fehlt uns z. B. noch ein klarer Einblick in den Mechanismus, welcher die Ermüdungshemmungen zur Geltung bringt.

Man spricht von Ermüdungsstoffen. Es sind auch Versuche bekannt, welche abgesehen von Säurewirkung, die Existenz solcher wahrscheinlich machen. Es bleibt aber die Frage, wie die Reize angreifen, daß die Ermüdungshemmungen ebenso koordiniert wirken wie die Aktionsimpulse, denen sie entgegenspielen.

Soviel ist sicher, daß es sich um Vorgänge auf der Stufe vegetativer Regulation handelt, da sie

sich im Dienste der Innenbedingungen der arbeitenden Gewebe vollziehen. Mit dieser Einsicht erschließt sich uns eine Erkenntnis von erheblicher Tragweite speziell auch für die Pathologie, welche sich auf die *Wechselbeziehung zwischen dem vegetativen und dem animalen Regulationsapparat bezieht.*

In einer Richtung haben wir eine solche Wechselbeziehung bereits festgestellt, indem wir vegetative Organe in engster Abhängigkeit von den animalen Apparaten gesehen haben. Sie tritt z. B. im Kreislauf und bei der Atmung in Erscheinung, wenn diese Organe fast im gleichen Augenblick, wo Arbeitsleistung begonnen wird, in den Zustand gesteigerter Tätigkeit mit hineingezogen werden. In der Ermüdung erkennen wir insofern ein Gegenstück, als hier nicht das animale System die Führung hat, sondern daß es nun seinerseits durch Faktoren vegetativer Qualität beeinflußt wird, nämlich durch die Zustände innerhalb der Gewebe. Der animale Apparat ist dabei offenkundig innerhalb gewisser Grenzen *nicht* in *unbedingter* Abhängigkeit von den vegetativen Regulationen, insofern nämlich die Ermüdungshemmung durch verstärkte animale Reize überwunden werden können. Es ist ein *abwägendes* Spiel und Gegenspiel zwischen Animal und Vegetativ, von denen das erstere Regulationssystem die Interessen der äußeren, das letztere der inneren Bedingungen des Individuums vertritt.

Bei der Besprechung der Zirkulationsregulierung haben wir die Meinung begründet, daß die Impulse, durch welche die vegetativen Hilfsfunktionen zugunsten des animalen Arbeitsapparates aktiviert werden, auf sympathischen Bahnen gehen. Es gibt eine Reihe von Erscheinungen, welche die Auffassung begründen, daß die retrograd fließenden *Hemmungen* parasympathisch vermittelt werden.

Noch eine Überlegung scheint uns zur Vervollständigung des hier gezeichneten Bildes über die Wechselbeziehungen zwischen animalem und vegetativem Regulationssystem zu gehören. Der wirksamste Angriffspunkt zur Regulierung unserer Arbeitsleistungen, welche wir *her*geben können, ohne uns *auszu*geben, ist zweifellos nicht das Erfolgsorgan, der Muskel, sondern der animale *Innervationsapparat*, welcher die Impulse zur Arbeitsleistung aussendet. So kommen wir zu der Vorstellung, daß aus der Schicht der vegetativen Regulationen Reflexe auch in die scheinbar souveränen Schichten des Zentralnervensystems hinaufgeworfen werden.

Diese Vorstellung läuft in allgemeiner Formulierung darauf hinaus, die vegetative Innervation — und zwar eine doppelsinnige — des *gesamten animalen Apparates* als die Vorbedingung einer vollendeten Übereinstimmung zwischen Leistung und Leistungsfähigkeit des Gesamtindividuums anzusehen.

Wir haben damit an das Phänomen der Ermüdung einige Gedanken angeschlossen, welche etwas allgemeinerer Natur sind. Wir kehren zum speziellen Thema zurück, wenn wir darauf hinweisen, daß die Folge der Ermüdung eine Einstellung unseres Körpers auf optimale Bedingungen der Restituierung ist. Diese Einstellung haben wir beim *Ausruhen*. Die vollkommenste Ausbildung dieser Ruhestellung ist der *Schlaf*.

Arbeit und Schlaf gehören in der Individualexistenz zusammen wie Energieentladung und Erholungsprozeß beim einzelnen Funktionselement einer Muskelfaser. Fraglich bleibt nur, was wir uns in bezug auf den Mechanismus dieses obersten Gliedes regulierender Einrichtung vorzustellen haben. Im Licht der oben ausgeführten Auffassung erscheint der Schlafzustand — im Gegensatz zu KÜPPERS — als Bestätigung eines Beherrschtwerdens der animalen Funktionen durch vegetative Regulationen. Die Ruhe des Schlafenden ist der stärkst akzentuierte Ausdruck jener Hemmungen, welche vom vegetativen Nervensystem — und zwar vom parasympathischen Teil — in den Ablauf der animalen Funktion hineingelegt werden.

Jede Forschung endigt nicht nur mit neuer *Erkenntnis*, sondern auch mit neuen *Problemen*. Es ist ein Glück für uns, daß uns sowohl das eine wie das andere Freude empfinden läßt. Deshalb glaube ich, auf Nachsicht hoffen zu dürfen, wenn ich in den Darlegungen, die ich vor Ihnen auszuführen die Ehre hatte, nicht nur Resultate abgeschlossener Erkenntnis mitteilte, sondern auch versuchte, neue Probleme zu entrollen.

Berufliche Arbeit als physiologisches Problem.

Von E. ATZLER, Berlin.

In allen Kulturstaaten sind Ingenieure, Wirtschaftler, Ärzte und Naturwissenschaftler eifrig bemüht, Mensch und Maschine möglichst wirksam arbeiten zu lassen. Aus den Darlegungen meines Korreferenten werden Sie den Eindruck gewonnen haben, daß dem Physiologen auf dem großen Gebiete der Arbeitswissenschaft wichtige Aufgaben zufallen. Das hat schon RUBNER vor dem Kriege erkannt, und seinem Einfluß ist es zu danken, daß wir in Deutschland in dem Berliner Kaiser-Wilhelm-Institut seit dem Jahre 1913 eine Stätte haben, wo ausschließlich die Arbeitsphysiologie gepflegt wird.

Welche praktischen Erfolge auf arbeitsphysiologischem Gebiete bisher erzielt worden sind, welche Probleme neu aufgetaucht sind und welche Wege zu ihrer Lösung beschritten wurden, darüber möchte ich Ihnen jetzt berichten. In Anlehnung an den vorangegangenen Vortrag werde ich dabei vor allen Dingen die muskuläre Arbeit in Betracht ziehen.

Die Voraussetzung für jede rationelle Organisation eines Betriebes ist es, daß man geeignete Arbeitskräfte zur Verfügung hat. Gelingt es, den rechten Mann an den rechten Platz zu stellen, so ist

die Grundbedingung für eine rationelle Wirtschaft erfüllt.

Aus dem Körperbau, der Beschaffenheit der Muskulatur und dem allgemeinen Eindruck wird der erfahrene Arzt sich ein allgemeines Urteil bilden können, ob der neu einzustellende Arbeiter den Anforderungen des Fabrikbetriebes gewachsen ist. Ein gedrungener Körperbau mit kurzen, dicken Beinen paßt nicht für einen Arbeiter, der im Betrieb flink und behende herumlaufen soll. Am Schraubstock oder an der Drehbank ist solch ein Mann vielleicht viel besser am Platz. Waldarbeiter, Schmiede, Schnitter und Maurer, die in ihrem Beruf besonders gute Leistungen aufzuweisen haben, sind meist sehr langarmig. Gewisse Beziehungen zwischen Körperbau und Berufseignung sind also unverkennbar. Um darauf eine objektive Methode der Arbeitsauslese aufzubauen, ist aber noch nicht genügend Tatsachenmaterial gesammelt. Besonders, wenn es sich darum handelt, ein Urteil über die Ausdauer eines Menschen zu gewinnen, ist man den größten Irrtümern ausgesetzt. Auf den Sportplätzen sieht man häufig Menschen, die einen außerordentlich schwächlichen Eindruck machen und doch ausgezeichnete Leistungen aufzuweisen haben.

Um solchen Täuschungen zu entgehen, hat man sich bemüht, objektive Anhaltspunkte für die körperliche Leistungsfähigkeit eines Menschen zu gewinnen. Ein besonderes Interesse hieran hat der Militärarzt für die Musterungen. Man stellte formelmäßige Beziehungen zwischen einer Reihe von Körpermaßen, wie Gewicht, Körperlänge, Brustumfang usw. her und glaubte in solchen „Indices' einen zahlenmäßigen Ausdruck für die physische Kraft zu gewinnen. Keiner dieser Indices hat aber recht befriedigt.

Relativ günstige Erfahrungen sollen nach den Angaben AMARS die französischen Militärärzte mit dem Pignetschen Index gemacht haben. Aus dem Körpergewicht in Kilogramm und dem Brustumfang in Zentimetern bildet man die Summe und zieht von dieser die Körpergröße in Zentimetern ab. Ist die so erhaltene Zahl niedriger als 10, so handelt es sich um ein sehr kräftiges Individuum. Je mehr sie den Wert von 10 übersteigt, um so weniger militärtauglich ist der untersuchte Mensch. KAUP und MARTIN bezeichnen den Pignetschen Index, trotzdem er das mathematische Gefühl beleidigt, als einigermaßen brauchbar, GUTTMANN dagegen lehnt ihn als vollkommen unbrauchbar ab.

Daß man aus einigen Daten, wie dem Körpergewicht, Brustumfang oder der Körperlänge, keine bindenden Schlüsse auf die Leistungsfähigkeit ziehen kann, dürfte eigentlich selbstverständlich sein. Wir wollen uns überlegen, welche Faktoren in erster Linie für die körperliche Leistungsfähigkeit eines Menschen in Betracht kommen. Bei einem guten Ernährungs- und Kräftezustand wird es, genügende Willensenergie vorausgesetzt, vor allem darauf ankommen, daß der Kreislaufapparat leistungs- und anpassungsfähig ist, und daß der Gasaustausch in den Lungen auch bei gesteigerten Anforderungen in ausreichendem Grade vonstatten geht. Wir sind mangels einer geeigneten Allgemeinprobe gezwungen, die einzelnen Organe auf ihre Leistungsfähigkeit zu untersuchen. Ein guter Indicator für ein kräftiges Herz ist das Verhalten des Pulses. Besonders die Dauer der Rückkehr des Arbeitspulses zum Ruhepuls ist ein beliebtes und wichtiges Kriterium. Das Blut selbst soll hämoglobinreich sein, denn ein geringer Hämoglobingehalt verlangt bei schwerer Körperarbeit eine sehr hohe Umlaufgeschwindigkeit und belastet somit in unrentabler Weise das Herz. Die Untersuchungstechnik der Atmungsorgane hat in der üblichen Weise zu erfolgen, wobei besonders auf den Spirometerbefund Wert zu legen ist. Es gibt aber oft genug Fälle, wo trotz normalen Kreisauslaufapparates und normaler Leistungsfähigkeit der Lungen schwere körperliche Arbeit nicht vertragen wird. In solchen Fällen liegt sehr häufig eine Überempfindlichkeit des Atemzentrums gegen Kohlensäure vor.

Steigt die Kohlensäurespannung in der Ausatmungsluft, so nimmt die Größe der Lungenventilation um so mehr zu, je feiner das Atemzentrum der Versuchsperson auf die veränderte Wasserstoffionenkonzentration des Blutes reagiert. MAGNE hat den Vorschlag gemacht, von dieser Erscheinung Gebrauch zu machen, um die Eignung für schwere körperliche Arbeit festzustellen. Der Prüfling atmet der Reihe nach Luftgemische von steigender Kohlensäurekonzentration ein, wobei die Größe der Lungenventilation gemessen wird. Wenn schon bei niedrigen Kohlensäurespannungen die Lungenventilation stark zunimmt, so ist der betreffende Mensch für körperliche schwere Arbeit nicht geeignet, weil er höhere Kohlensäurekonzentrationen schlecht verträgt.

Natürlich hängt die Fähigkeit, längere Zeit schwere körperliche Arbeit auszuführen, von einer großen Reihe von Faktoren ab, unter denen die psychischen eine besondere Rolle spielen. Die psychische Komponente wird beherrscht von den physiologischen Funktionen des Gesamtorganismus. So ergibt sich die Möglichkeit, auch mit einfachen physiologischen Untersuchungsverfahren an die Frage der Ermüdbarkeit heranzutreten. Die Funktionstüchtigkeit der Gefäße der unteren Extremität ist z. B. von großer praktischer Bedeutung für die Ermüdung. Beim Übergang vom Liegen zum Stehen gelangen die Blutgefäße der unteren Extremität unter einen erhöhten hydrostatischen Druck. Eine beträchtliche Blutmenge sackt in die unteren Körperpartien, während die höher gelegenen Organe, insbesondere Herz und Gehirn, unter Blutmangel leiden. Bei einem Menschen mit guten Gefäßen wird der Gefahr einer ungünstigen Blutverteilung dadurch begegnet, daß sich die Gefäßmuskeln kontrahieren. Kehrt der Mensch in die horizontale Lage zurück, so ist die Stauungsgefahr beseitigt, und der Tonus der Ringmuskeln nimmt wieder ab.

Ich untersuchte gemeinsam mit Herrn Dr. HERBST mit einer plethysmographischen Methode zunächst an gesunden Personen die Änderungen, welche das Unterschenkelvolumen bei verschiedenen Körperlagen erfährt. Bei einstündigem Sitzen mit herabhängendem Fuß nahm das Fußvolumen gegenüber der Horizontallage um 1% zu. Bei einstündigem Stehen betrug die Volumenzunahme etwa 3,5%. Diese Volumenzunahme verschwindet bei Ruhe mit hochgelagertem Bein nach einer Viertelstunde. Beim Gehen nimmt das Fußvolumen um etwa 2% zu. Die Maximalwerte wurden beim Sitzen, Stehen und Gehen nach 2—3 Stunden erreicht.

Es fanden sich nun gesunde Versuchspersonen, die schon beim Sitzen einen Volumenzuwachs erfuhren, den wir sonst nur beim Stehen zu sehen gewohnt waren. In solchen Fällen kann dem allgemeinen Kreislauf eine ins Gewicht fallende Blutmenge entzogen werden. Der Blutmangel beschleunigt den Eintritt des Ermüdungszustandes. Es dürfte sich also empfehlen, die Gefäßtüchtigkeit eines Arbeiters zu untersuchen. Leute mit schlechten Gefäßen sollen nicht zu Arbeiten herangezogen werden, die mit langem Stehen verbunden sind. Man wird auch versuchen müssen, die Störungen der Blutverteilung beim gefäßtüchtigen Arbeiter auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Wir sehen ja, daß man durch geeignete Anordnung der Ruhepausen oder Einschaltung von Muskelbewegungen dieses Ziel erreichen kann.

Es ist zu hoffen, daß noch weitere solche Methoden ausgearbeitet werden, die es ermöglichen, die Arbeiterauslese nach objektiven Methoden vorzunehmen.

Eine weitere Aufgabe, welche die Arbeitsphysiologie zu lösen hat, besteht darin, die menschliche Arbeitskraft möglichst rationell zu verwerten. Unter einem Minimum von Energieverbrauch sollen Maximalleistungen vollbracht werden. Die Leistungsfähigkeit ohne Rücksicht auf den Energieverbrauch durch rein organisatorische Maßnahmen zu steigern, ist relativ einfach. TAYLOR hat als erster solche Versuche angestellt und in der Tat verblüffende Erfolge erzielt. Bei der Schaufelarbeit konnte er z. B. durch empirische Feststellung einer optimalen Schaufellast und durch Beseitigung unzweckmäßiger Nebenbewegungen erreichen, daß 140 Arbeiter in der gleichen Zeit eine Leistung vollbrachten, zu der früher 500 bis 600 Menschen benötigt wurden. Sein Schüler GILBRETH rationalisierte die Maurerarbeit mit dem Erfolge, daß statt 120 jetzt 350 Ziegel in der Stunde gelegt werden. Allerdings darf nicht verschwiegen werden, daß diese verblüffenden Leistungssteigerungen den guten Willen des Arbeiters voraussetzen, der durch ein raffiniertes Lohnsystem erkauft wird.

Eine Rationalisierung in dem Sinne, wie sie dem Arzt als Ideal vorschwebt, ist durch den Taylorismus nicht erreicht. TAYLOR legt den Hauptwert auf eine Intensivierung der Arbeit; er nutzt die menschliche Arbeitskraft bis zur äußersten Grenze aus. Eine Rationalisierungsmethode soll aber die Leistung steigern, ohne den Arbeiter übermäßig zu beanspruchen. So ist es die vornehmste Aufgabe der Arbeitsphysiologie, die Bedingungen zu erkennen, unter denen eine Höchstleistung mit geringstem Energieaufwand von seiten des Arbeiters vollbracht wird. Das ist ein durchaus natürliches Bestreben.

Manche Beispiele lassen sich anführen als Beleg dafür, daß auch die Natur möglichst rationell zu wirtschaften sucht. Der tierische Organismus behilft sich mit einer relativ geringen Blutmenge und sorgt durch Vasomotoren und andere Regulationsmechanismen dafür, daß der Blutstrom auf Kosten ruhender Organe nach den Orten gesteigerter Tätigkeit gelenkt wird. Demselben Sparprinzip begegnen wir beim Arbeitsstoffwechsel. Es ist sicher kein Zufall, daß die Kohlehydrate in erster Linie das Brennmaterial für den arbeitenden Muskel darstellen. Denn sie sind dadurch ausgezeichnet, daß sie in ihren Molekülen einen höheren Gehalt an Sauerstoffatomen führen als Fett und Eiweißkörper. Bei Kohlehydratverbrennung wird also Herz und Atmung weniger belastet als bei Verbrennung von Fett oder Eiweiß.

Ja selbst in jedem Menschen ist ein instinktives Rationalisierungsbestreben vorhanden. Sie wissen alle aus eigener Erfahrung, daß eine Arbeit, die beim Erlernen nur unter größter Anstrengung durchführbar ist, mit zunehmender Übung immer leichter vonstatten geht. Verfolgt man mit dem Respirationsapparat den Gaswechsel, so sieht man, daß der Energieverbrauch für die gleiche Arbeit am ersten und zweiten Tage hoch ist, dann immer mehr und mehr absinkt, bis ein annähernd konstanter Minimalwert des Energiekonsums erreicht ist.

Diese allmählich zunehmende Steigerung des Wirkungsgrades wird dadurch erreicht, daß sich das Zusammenspiel der Muskeln immer zweckmäßiger gestaltet, je weiter die Übung fortschreitet. Störende Nebenbewegungen kommen in Fortfall, und die einzelnen Muskeln gewinnen unter dem Einfluß des Nervensystems die Fähigkeit, sich in der zweckmäßigsten Reihenfolge mit einer eben ausreichenden Intensität zu kontrahieren. Alle diese Faktoren setzen den Energieverbrauch herab und bessern somit die Ökonomie für eine bestimmte Arbeit.

An einem besonders krassen Fall kann man das sehr schön demonstrieren. Vergleicht man einen Menschen, der zum erstenmal in seinem Leben Kartoffeln schält mit einem anderen, der in dieser Tätigkeit sehr geübt ist, so sieht man, daß der Geübte in der Hauptsache nur die Hand- und Fingergelenke bewegt; der Ungeübte dagegen vollführt sehr viele überflüssige Nebenbewegungen, welche den Energieverbrauch unnütz erhöhen. So ist es verständlich, daß der Energieverbrauch mit zunehmendem Training geringer wird, da ja immer weniger Muskeln an dem Arbeitsprozeß beteiligt werden.

Durch feinere Bewegungsstudien hat man er-

kannt, daß ein maximal Geübter eine auffallende Stetigkeit seiner Bewegungskurven zeigt. Ruckweise Unterbrechungen und andere Diskontinuitäten der Bewegungsbahn, wie wir sie beim Ungeübten sehen, sind unzweckmäßig, weil sie mehr Muskelarbeit und stärkere Willensimpulse verlangen als die stetige Bewegung. Diese Korrekturimpulse des Ungeübten erfolgen unter kortikaler Kontrolle. Je eingeübter die Arbeit aber ist, und je harmonischer die Bewegungsvorgänge verlaufen, um so weniger ist der Wille an ihr beteiligt, und um so mehr verlaufen die Impulse auf den Instinktivbahnen. Man spricht von der automatisierten Bewegung. Es folgt hieraus, daß man die körperliche Arbeit im Fabrikbetrieb tunlichst automatisieren soll, da sie dann weniger ermüdet.

Die Besserung der Leistungsfähigkeit durch die Übung ist aber je nach den Muskelgruppen verschieden. Wir unterscheiden für unsere praktischen Untersuchungen zweckmäßig zwischen primitiven und komplizierten Bewegungsvorgängen. Primitive sind solche, die jeder Mensch für die Aufgaben des täglichen Lebens immer wieder ausführen muß, wie Gehen, Laufen, Greifen mit der Hand usw. Schon bei diesen primitiven Bewegungen sind die verschiedenen Muskeln in verwickelter Weise beteiligt. Ich darf Sie daran erinnern, daß selbst für die einfache Beugung des Armes im Ellbogengelenk die Beuger allein nicht ausreichen, sondern daß eine Reihe anderer Muskeln in Tätigkeit treten muß. Denn infolge der Beugung verlagert sich der Schwerpunkt. Hilfsmuskeln müssen das Zurückweichen des Armes verhindern.

Noch viel unübersichtlicher vom rein anatomischen Standpunkt sind die komplizierten Bewegungen. Diese verlangen ein neuartiges Zusammenspiel der einzelnen Muskeln, das der Mensch mühsam erlernen muß. Gerade im modernen Fabrikbetriebe kommt diese Bewegungsart aber besonders häufig vor.

Die maximale Leistungsfähigkeit wird bei primitiven Bewegungen früher erreicht als bei komplizierten. Wir wählen bei einer primitiven Arbeit instinktiv die günstigste Arbeitsgeschwindigkeit, während uns bei komplizierten Bewegungen das Gefühl für den richtigen Arbeitsrhythmus sehr täuschen kann. Bei komplizierten Bewegungen liegt der optimale Übungsgrad bei den einzelnen Individuen verschieden hoch. Wir sprechen dann von einer mehr oder weniger großen Geschicklichkeit. Diese Unterschiede beruhen in der Hauptsache auf verschiedenen Bewegungsformen der einzelnen Arbeiter. Hier bietet sich die Möglichkeit, durch spezielle Anlernverfahren jedem Arbeiter den günstigsten Bewegungsmodus beizubringen.

Bei den primitiven Bewegungen hingegen wird das Auge des Geübten auch Geschickte von Ungeschickten zu unterscheiden vermögen, aber die Differenzen in der Art der Ausführung sind so gering, daß sich eine Korrektur der Bewegungsvorgänge bei den Ungeschickteren kaum lohnt.

Wir sehen also, daß der Organismus mit seiner Arbeitskraft möglichst ökonomisch umzugehen sucht. Diesem Bestreben ist aber durch die äußeren Arbeitsbedingungen häufig eine Grenze gesetzt. *Das Werkzeug und die Maschine drängen dem Menschen eine bestimmte Bewegungsform auf, von der durchaus nicht immer feststeht, ob sie den Eigentümlichkeiten des menschlichen Motors zweckmäßig angepaßt ist. Hier öffnet sich der Arbeitsphysiologie ein dankbares Arbeitsgebiet.* Wie der Ingenieur immer bestrebt sein wird, die Leistung seiner Maschine möglichst hoch zu gestalten, so soll der Arbeitsphysiologe die Mittel angeben, welche geeignet sind, einen optimalen Wirkungsgrad des menschlichen Motors zu erzielen.

Durch den Respirationsversuch können wir den Energieverbrauch für eine bestimmte äußere Arbeit mit hinreichender Genauigkeit ermitteln. Somit ergibt sich die Möglichkeit einer Bestimmung des Wirkungsgrades des menschlichen Motors. Man müßte also unter Messung des Gaswechsels diejenige Arbeitsgestaltung ermitteln, bei der die größten Leistungen unter geringstem Energieverbrauch erzielt werden. Dieser Plan erscheint bei den abertausend konkreten Fällen uferlos. Aber die Aufgabe der wissenschaftlichen Forschung ist es ja, das Typische zu sehen und die Vielheit der Erscheinungen unter einfache Gesichtspunkte zu bringen. So haben wir gefunden, daß die Fabrikarbeit sich aus einer Summe von Elementarbewegungen zusammensetzt. 30—40 solcher Elemente genügen, um jeden noch so komplizierten Arbeitsvorgang zusammenzufügen. *Damit ist das Problem der physiologischen Rationalisierung der menschlichen Arbeit experimentell faßbar geworden,* denn wir brauchen nur für jedes Arbeitselement im Respirationsversuch die optimalen Arbeitsbedingungen festzustellen.

Als Beispiel solcher Elementarbewegungen führe ich an: das Drehen einer Kurbel, das Heben von Lasten, das Ziehen und Stoßen in wagerechter Richtung, Schieben und Ziehen von Karren und Wagen usw. Um den optimalen Wirkungsgrad für jedes dieser Arbeitselemente festzustellen, muß man einen Mechanismus ersinnen, der die exakte Bestimmung der geleisteten äußeren Arbeit gestattet. Denn diese Größe muß ja zu dem durch Gaswechselmessung bestimmten Energieaufwand der Versuchsperson in Beziehung gesetzt werden. Die Arbeitsapparate müssen fernerhin so konstruiert sein, daß der Arbeitsvorgang nach all denjenigen Richtungen variiert werden kann, die für das praktische Leben in Frage kommen. So muß bei der Arbeit des Kurbeldrehens die pro Umdrehung der Kurbel geleistete äußere Arbeit, die Höhe der Achse, der Kurbelradius und die Drehgeschwindigkeit variiert werden.

Die Versuche, welche ich mit den Herren Dr. LEHMANN, HERBST und MÜLLER durchführte, sind recht langwierig. Denn es dauert für jede Variation eines Arbeitselementes eine gewisse Zeit, bis das geforderte Arbeitsquantum unter dem Minimum von Energieaufwand geleistet wird.

Will man aber die Ökonomie der einzelnen Variationen untereinander vergleichen, so muß für jede Modifikation der maximale Übungsgrad erreicht sein.

An einem recht einfachen Fall, der Arbeit des Gewichthebens, will ich Ihnen jetzt auseinandersetzen, wie man die gewonnenen Versuchsergebnisse für die Praxis nutzbar gestalten kann. Die Aufgabe bestand darin, ein Gewicht, das sich in einer bestimmten Ausgangshöhe befand, mit beiden Händen zu fassen, um einen gewissen Betrag zu heben und dann abzusetzen. Variiert wurden die Ausgangshöhe, die Hubhöhe und die Größe des Gewichtes. Aus einer Übersichtstabelle ersehen Sie die gewonnenen Resultate.

Tabelle I. Energieverbrauch beim Gewichtheben unter verschiedenen Bedingungen in WE pro mkg Arbeit.

Ausgangshöhe cm	Hubhöhe cm	Gewichte in kg 9,15	13,85	18,95	24,05	28,56
0	50	76,78	57,55	47,92	42,64	42,87
	100	59,30	47,25	40,99	39,26	42,10
	150	48,31	39,02	36,07	36,87	39,68
	200	44,47	37,26	34,93	36,56	40,69
50	50	50,69	42,60	38,16	37,88	41,16
	100	38,68	33,46	32,29	34,68	38,61
	150	36,15	31,88	36,17	36,17	38,74
100	50	31,87	29,32	29,80	33,39	41,01
	100	32,40	29,36	30,03	32,48	35,49
150	50	38,31	32,93	34,39	40,80	50,93

cal. pro 1 mkg äußere Arbeit.

Sie ersehen aus dieser Tabelle, daß sich die Höhen, von denen aus das Gewicht aufgehoben wurde 0, 50, 100 und 150 cm über dem Fußboden befand. Die Hubhöhe wurde in den Grenzen von 50—200 cm variiert. Natürlich wurde die mögliche Hubhöhe kleiner, je höher die Ausgangshöhe lag. Die Gewichte betrugen 9,15, 13,85, 24,05 und 28,55 kg. Sie erkennen aus der Tabelle, daß die Ökonomie bei diesen verschiedenen Arbeitsbedingungen recht verschieden ist. Wird ein Gewicht von 9,15 kg vom Boden um 50 cm hochgehoben, so ist der Energieaufwand pro 1 mkg äußerer Arbeit 76,78 kleine Calorien. Hebt man das Gewicht aber um 200 cm, so arbeitet der Mensch bei weitem ökonomischer, denn jetzt ist der Energieaufwand für die Arbeitseinheit fast auf die Hälfte des vorigen Wertes gesunken.

Man sieht also an diesem Beispiele, wie durch verhältnismäßig einfache Korrekturen am Arbeitsprozeß eine gewaltige Verbesserung des Wirkungsgrades erzielt werden kann. Bei Lager- und Transportarbeiten, im Bauhandwerk und in vielen anderen Berufszweigen kann bei einer so wichtigen Elementarbewegung wie dem Gewichtheben schon eine viel geringgradigere Verbesserung der Wirkung eine große Ersparnis bedeuten.

Für die Zwecke der Praxis empfiehlt es sich, diese Generaltabelle auf Grund einfacher Umrechnungen in Spezialtabellen zu zerlegen. Diese Spezialtabellen bieten den weiteren Vorteil, daß man aus ihnen gewisse Gesetzmäßigkeiten herauslesen kann, die auch theoretisches Interesse haben dürften. Häufig ist die Ausgangshöhe und die Hubhöhe in der Praxis vorgeschrieben, während das mit jedem Hube zu fördernde Gewicht der freien Wahl des Arbeiters überlassen bleibt. Dann kann man aus der Tabelle 2 das optimale Gewicht für jeden Einzelfall ersehen.

Tabelle II. Optimales Gewicht in kg.

Ausgangshöhe in cm	Hubhöhe in cm 50	100	150	200
0	26,1 (44,5)	22,6 (38,8)	21,0 (36,6)	18,3 (34,7)
50	22,2 (37,5)	17,7 (34,0)	16,4 (31,9)	—
100	15,8 (28,7)	15,0 (29,0)	—	—
150	15,3 (34,2)	—	—	—

Im ersten Stabe sind die Ausgangshöhen und im zweiten die verschiedenen Hubhöhen eingetragen. Ist beispielsweise eine Ausgangshöhe von 50 cm und eine Hubhöhe von 100 cm vorgeschrieben, so beträgt das optimale Gewicht 17,7 kg. Aus den darunterstehenden eingeklammerten Zahlen ist zu entnehmen, daß unter diesen Bedingungen der Energieverbrauch pro 1 mkg äußerer Arbeit 34,0 kleine Calorien beträgt.

Wir können aus dieser Tabelle einige wichtige Folgerungen ziehen. Man sieht, daß mit steigender Ausgangshöhe das optimale Gewicht kleiner wird. Das ist so zu erklären. Bei niedriger Ausgangshöhe muß sich die Versuchsperson bücken. Es treten viel mehr Muskelgruppen in Aktion als bei mittlerer oder hoher Ausgangshöhe. Je größer aber die Zahl der arbeitenden Muskelgruppen ist, um so stärker müssen sie auch belastet werden, um rationell zu arbeiten. Wählt man ein zu niedriges Gewicht, so ist der Energiekonsum für die Betätigung des umfangreichen Muskelapparates im Vergleich zur geleisteten Arbeit viel zu groß, und ein schlechter Wirkungsgrad ist die Folge. Bei den großen Hubhöhen muß die Last über die Unterstützungsfläche des Körpers hinaus mit gestreckten schräg hochgehaltenen Armen vorgeschoben und abgelegt werden. Hierfür besteht die Grenzbedingung, daß das Drehmoment der Last höchstens gleich dem Drehmoment des Körpers sein darf. Wäre das erstere Drehmoment größer, so müßte der Körper vorn überkippen. Die Größe der Anstrengung wird vor allem abhängen von der Strecke, um die das Gewicht vom Schwerpunkt entfernt werden soll. Je weiter die Last vorgeschoben werden muß, um so ungünstiger ist der Arbeitsvorgang. Denn die schwache Armmuskulatur ist den verlangten Anforderungen nur wenig gewachsen. Besser wird es dagegen bei mittlerer Ausgangs- und niedriger Hubhöhe. Hier wird der Arm im Ellbogengelenk ge-

winkelt. Dabei wird der Hebelarm verkürzt und die kräftigen Oberarmmuskeln treten in Wirksamkeit. Die Folge ist eine erhöhte Ökonomie bei dieser Art des Arbeitsvorganges. Wir können also aus diesem speziellen Fall ein ganz allgemein gültiges Gesetz ableiten: *Für schwere Arbeit soll man kräftige Muskelgruppen, für leichte Arbeit schwache Muskelgruppen heranziehen.* So einfach auch diese Regel klingen mag, so häufig wird im praktischen Leben gegen sie verstoßen.

In einer weiteren Spezialtabelle (III) wollen wir den Fall behandeln, daß Ausgangshöhe und Gewicht gegeben sind, während die Hubhöhe variiert werden kann.

Tabelle III. Optimale Hubhöhe in cm.

Gewicht kg	Ausgangshöhe in cm 0	50	100	150
9,15	**190** (44,1)	**140** (35,3)	**50** (31,5)	**50** (38,3)
13,85	**182** (35,5)	**140** (31,4)	**50—100** (29,3)	**50** (32,9)
18,95	**182** (34,3)	**134** (31,0)	**50—100** (29,8)	**50** (34,4)
24,05	**175** (35,7)	**110** (34,5)	**100** (32,5)	**50** (40,8)
28,45	**165** (39,1)	**110** (38,5)	**100** (35,5)	**50** (50,9)

Die Tabelle ist genau so angeordnet, wie die eben besprochene. Ist also ein Gewicht von 13,85 kg von einer Ausgangshöhe von 50 cm zu heben, so ist es am günstigsten, wenn die Hubhöhe 140 cm beträgt. Der Energiekonsum für die Arbeitseinheit beträgt dann 31,4 kleine Calorien.

Bei den niedrigen Ausgangshöhen steigt die optimale Höhe mit sinkendem Gewicht. Das ist nach dem eben entwickelten Gesetz zu erwarten. Bei mittlerer Ausgangshöhe (100 cm) sehen wir aber ein umgekehrtes Verhalten. Zwei Gründe kommen zur Erklärung hauptsächlich in Frage. Ein nicht unerheblicher Bruchteil der aufgewandten Gesamtenergie wird für das Anfassen, in Bewegungsetzen und Hinlegen des Gewichtes bei allen Variationen verbraucht. Es ist natürlich günstig, wenn sich die hierfür nötige Energie auf eine möglichst große Hubhöhe verteilt. Weiter spielt aber noch die lebendige Energie, die der Last erteilt wird, eine große Rolle. Die dem Gewicht beim Aufreißen erteilte kinetische Energie kann nur dann den Körper entlasten, wenn die Hubhöhe nicht zu klein ist. Andernfalls kann der Last nicht die optimale Anfangsgeschwindigkeit erteilt werden, oder der Körper muß sogar Bremsarbeit leisten.

An dem Arbeitselement des Gewichthebens ist der Einfluß der lebendigen Energie nicht so deutlich erkennbar wie bei der Arbeit des Kurbeldrehens. Gestatten Sie mir daher, für die weiteren Darlegungen diese Elementarbewegung der Betrachtung zugrunde zu legen.

Nachdem wir für Höhe, Radius und Belastung die günstigsten Arbeitsbedingungen des Kurbeldrehens festgestellt hatten, wandten wir uns der Frage der optimalen Geschwindigkeit zu und kamen dabei zu überraschenden Ergebnissen. Unser Kurbelsystem besaß ein relativ hohes Trägheitsmoment. Es ergab sich einmal, daß die optimale Geschwindigkeit bei den verschieden starken Belastungen der Kurbel annähernd gleich war, weiter, daß die optimale Zahl der Umdrehungen pro Minute nur ganz wenig mit steigendem Radius abnahm. Bei gleicher Zahl der Umdrehungen pro Minute wächst die Geschwindigkeit der Handbewegung proportional mit dem Radius. So wuchs auch die optimale Handgeschwindigkeit fast proportional mit dem Radius. Damit ist also gesagt, daß es für die Ökonomie nicht darauf ankommt, mit welcher Geschwindigkeit die Hand bewegt wird.

Wir registrierten nun mit einer geeigneten Vorrichtung den von der Hand auf den Kurbelgriff ausgeübten Tangentialdruck und stellten fest, daß bei langsamem Drehen der von der Hand ausgeübte Druck an den einzelnen Punkten der Kurbelperipherie gleich stark war. Je rascher das System aber bewegt wurde, um so schärfer konzentrierte sich der Maximaldruck auf zwei ausgezeichnete Kurbelperipheriepunkte, deren einer im Anfang der Abwärtsbewegung, deren anderer im Beginn der Kurbelhebung gelegen ist. Bei hoher Tourenzahl verschwindet die zweite Erhebung der Druckkurven.

Berücksichtigen wir dies, so können wir jetzt ableiten, wovon die optimale Geschwindigkeit an kontinuierlich sich drehenden Systemen von hohem Trägheitsmoment abhängt. Der anatomische Bau unseres Körpers scheint zu besagen, daß viele unserer Muskelgruppen besser für kurze schnelle Kraftäußerungen als für Dauerleistungen befähigt sind. Denn der Angriffspunkt der Muskeln liegt meist nahe dem Drehpunkt der Gelenke. Für unseren Fall betrug die optimale Drehgeschwindigkeit im Mittel 30 Umdrehungen pro Minute. Dabei verschwindet eben das zweite Maximum der Druckkurve.

Um ein solches System dem Menschen anzupassen, kommt es vor allem darauf an, daß ihm in einem für die arbeitenden Muskelgruppen optimalen Rhythmus ein Maximum von lebendiger Energie zugeführt wird.

Die kinetische Energie erhalten wir, wenn wir das Produkt aus Trägheitsmoment und dem halben Quadrat der Winkel Geschwindigkeit bilden. Die optimale Kontraktionsfrequenz der Muskelgruppe ist gegeben; mithin wird man das Trägheitsmoment des bewegten Systems zu variieren haben, um einen optimalen Wirkungsgrad zu erhalten.

Ein System mit geringem Trägheitsmoment wird mit um so schlechterem Wirkungsgrad in Bewegung gehalten, je geringer das Arbeitstempo ist. Andererseits ist ein geringes Trägheitsmoment günstig, wenn das System oft, aber nur für kurze Zeit in Bewegung gesetzt werden soll.

Durch diese Rationalisierungsarbeit wird die Leistungsfähigkeit erhöht und der Eintritt der Er-

müdung auf die denkbar natürlichste Weise verzögert. Wir besitzen aber damit noch keine Möglichkeit, wissenschaftlich fundierte Angaben zu machen über das tägliche Arbeitsquantum, das man bei einer bestimmten Beschäftigung von einem Menschen fordern kann, ohne befürchten zu müssen, daß er überanstrengt wird. Daß der schablonenmäßige Achtstundentag keine ideale Lösung darstellt, darüber herrscht kein Zweifel. Er ist vielleicht auch weniger aus medizinischen, als aus allgemein ethischen und sozialen Erwägungen heraus entstanden.

In der vorindustriellen Zeit hatte sich eine ziemlich richtige Arbeitsdauer für die einzelnen Handwerksarten und Berufe durch jahrhunderte lange Erfahrung herausgebildet. Als aber die Maschine das Handwerk immer mehr und mehr verdrängte, da entstanden fast täglich neue Arbeitsformen, deren Ermüdungswirkung unbekannt war. Die Maschinen nehmen zwar dem Menschen die schwere körperliche Arbeit mit der Weiterentwicklung der Technik immer mehr ab. Dafür erwuchsen aber dem Arbeiter neue Verpflichtungen. Wurde er früher von einer einfachen Maschine vollkommen in Anspruch genommen, so muß er heute mehrere moderne Maschinen vielfach gleichzeitig überwachen. Und an Stelle der früheren groben körperlichen Arbeit ist jetzt eine Verfeinerung getreten. Es werden vorwiegend die kleinen Muskeln dauernd beansprucht, und lebhafte nervöse Prozesse müssen unterhalten werden, um den normalen Ablauf der eine exakte Koordination erfordernden Bewegungen zu ermöglichen. Die Ermüdungswirkung solcher Arbeit kennt man nicht, weil geeignete Methoden zur Messung der Ermüdung fehlen.

Bisher wurde die Länge des Arbeitstages durch grobes Ausprobieren bestimmt. Man wählte zunächst eine möglichst lange Arbeitszeit — bis zu 16 Stunden pro Tag war früher durchaus keine Seltenheit. Die Werkleitungen sahen sich dann meist genötigt, die Arbeitszeit immer mehr zu kürzen, weil in den letzten Stunden des Arbeitstages die Produktion infolge der Übermüdung der Arbeiter so stark zurückging, daß die Betriebsunkosten größer wurden als der durch die allzu lang ausgedehnte Arbeitszeit hervorgerufene Produktionsgewinn. Dann besteht aber die große Gefahr, daß die Arbeiter überanstrengt werden. Es ist sicher, daß eine tägliche Übermüdung des Menschen auch wenn sie geringen Grades ist, mit der Zeit zu ernsten Störungen führt. Jedenfalls gibt es zu denken, daß die Invaliditätsgrenze bei unseren Fabrikarbeitern bei 35—38 Jahren liegt.

Es ist also ein zwingendes Gebot, den Grad festzustellen, bis zu dem eine Intensivierung getrieben werden darf, ohne daß eine vorzeitige Abnutzung des Arbeiters zu befürchten ist. Um befriedigende Angaben über die für die einzelnen Berufe zulässige Länge der Arbeitszeit machen zu können, müssen wir aber über Methoden verfügen, welche die Größe der Ermüdung nach körperlicher und geistiger Arbeit zahlenmäßig anzugeben erlauben.

Bei reiner Muskelarbeit können es Dauer- oder Kraftleistungen sein, die eine Ermüdung hervorrufen. Aber auch rein statische Arbeit, wie das längere Halten eines Gewichtes mit ausgestreckten Armen ermüdet in hohem Maß. Die in der Fabrik vorkommenden Arbeiten beanspruchen vielfach die verschiedensten Organe. Je nach der Art der Beschäftigung wird aber das eine oder das andere Organ besonders angestrengt und der Ermüdung ausgesetzt. Wie weit eine solche Organermüdung auf den Gesamtkörper wirkt, ist noch sehr unklar. Wir wissen nur, daß eine geistige Arbeit durch vorangegangene starke körperliche Arbeit erschwert wird und umgekehrt. Eine Ermüdung, die vorwiegend das Auge oder den Tastsinn betrifft, wird kaum Rückwirkungen auf den Gesamtkörper ausüben können. Und doch ist es dringend nötig, auch diese Teilermüdung zahlenmäßig zu erfassen. Mancher Finger wird von der Stanzmaschine abgequetscht, weil die Tastorgane infolge Übermüdung versagen.

Es muß also bei Ermüdungsmessungen dasjenige Organ untersucht werden, das im einzelnen Fall besonders beansprucht wird. Handelt es sich um rein geistige Arbeit, so wird man die Kraepelinsche Addiermethode heranziehen; ist eine feine Koordination der Bewegungen das Charakteristische eines Arbeitsvorganges, so kann man das Blixsche Verfahren benutzen, das die Ermüdung des Muskelsinnes anzeigt usw.

Von besonders praktischer Bedeutung ist die Messung der Ermüdung nach schwerer körperlicher Arbeit; man möchte meinen, daß die Messung der Muskelermüdung am lebenden Menschen sehr leicht sein müsse, da wir doch durch die schönen Arbeiten von EMBDEN, HILL, MEYERHOF u. a. so tiefe Einblicke in die bei der Muskelkontraktion sich abspielenden Vorgänge erhalten haben. Eine an sich äußerst wertvolle Versuchsanordnung hat, so merkwürdig es klingen mag, für das in Frage stehende Problem als Hemmschuh gewirkt. Mosso hat zum Studium der Muskelermüdung in seinem bekannten Ergographen einen einzelnen Muskel herangezogen, dessen Arbeitsleistung fortlaufend registriert wird. Man erhält so in der Tat Kurven, aus denen der Ermüdungsverlauf des untersuchten Muskels deutlich herauszulesen ist. Man beging nun aber den Fehler, aus dem Verlauf der Ergographenkurve vor und nach der Berufsarbeit Rückschlüsse auf die Größe der Ermüdung zu ziehen. Wenn auch das Muskelspiel bei einer bestimmten beruflichen Arbeit ein anderes ist als bei der Betätigung eines Mossoschen Ergographen, so stellte man sich doch vor, daß durch gewisse Ermüdungsstoffe eine allgemeine Intoxikation eintritt. Für ihre Messung sollte der im Ergographen untersuchte Muskel als Indicator dienen.

Wohl erhielt man nach erschöpfenden Arbeitsleistungen eine deutliche Verminderung der Ergographenleistung. Aber bei Arbeiten, die nicht bis zur Grenze der Erschöpfung getrieben wurden, versagte die Methodik. Schon ZUNTZ und SCHUMBURG konnten zeigen, daß nach anstrengenden Gepäck-

märschen die Ergographenkurve gegenüber dem frischen Zustande keine Veränderung aufwies.

Ein Verfahren, das aber so unempfindlich reagiert, hat für die praktische Ermüdungsforschung keine Bedeutung. KIMURA prüfte kürzlich im Berliner Hygienischen Institut eine Reihe anderer Verfahren, die zur objektiven Messung einer Allgemeinermüdung empfohlen worden sind, wie die Bestimmung der Akkomodationsbreite nach BAUR, die Veränderung des Blutdruckes, die plethysmographische Methode nach WEBER, die Bestimmung der Reaktionszeit und die Ergographenmethode. Keine dieser Methoden erwies sich als brauchbar. Sie alle geben erst Ausschläge, wenn eine bereits starke Ermüdung besteht, die übrigens in den einzelnen Apparaten sehr schwankend angegeben wird. Will man aber die optimale Arbeitszeit für eine bestimmte Muskelarbeit festlegen, so muß man gerade den Moment ermitteln, wo die Leistungsfähigkeit der arbeitenden Muskelgruppe eben nachzulassen beginnt. So möchte es fast erscheinen, als ob diese so eminent wichtige methodische Aufgabe praktisch unlösbar sei. Und doch zeigt uns die Natur selbst den Weg, den wir gehen müssen.

Beobachtet man z. B. einen gut trainierten Forstarbeiter, der mit der Axt in ununterbrochener Arbeit einen Baum fällen soll, so sieht man, daß in frischem Zustand die Axt im eleganten Bogen geschwungen wird. Die Hauptarbeit wird von der Armmuskulatur vollführt. Nur leichte Schwingungen des Oberkörpers unterstützen die Bewegung. Ganz anders ist aber das Bild im ermüdeten Zustand. Die Armmuskulatur beginnt zu erlahmen, und andere Muskelgruppen werden zur Hilfeleistung mit herangezogen. Eine viel größere Muskelmasse ist jetzt daran beteiligt, der Axt die nötige Schwungkraft zu erteilen.

Sie sehen also, daß der Organismus automatisch Hilfsmuskeln betätigt, sobald die Hauptmuskelgruppe zu erlahmen beginnt. Dieser Zeitpunkt ist charakterisiert durch eine der Vergrößerung der arbeitenden Muskelmassen äquivalente Steigerung des Stoffverbrauches. Man könnte also daran denken, durch fortlaufende Respirationsversuche den Gang der Ermüdung zu studieren. Das wäre aber ein umständliches Verfahren, das in vielen Fällen vielleicht auch nicht empfindlich genug ist. Meist wird man zum Ziel gelangen, wenn man durch Bewegungsstudien an charakteristischen Körperpunkten den Moment bestimmt, wo beim trainierten Menschen die erste Abweichung vom normalen Bewegungsvorgang einsetzt. Damit ist der Zeitpunkt bestimmt, an dem eine Pause einzusetzen hat.

Es kommt nun darauf an, die günstigste Pausenlänge zu ermitteln. Sie muß lang genug sein, um eine ausreichende Erholung zu gewährleisten, andererseits darf der Übungsgewinn, der sich mit jeder Arbeit einstellt, nicht durch eine zu lange Unterbrechung der Arbeit vernichtet werden.

Man wird also an den einzelnen Versuchstagen nach dem ersten Arbeitsabschnitt verschieden lange Pausen einschalten und nach dem vorgeschlagenen Verfahren feststellen, nach welcher Pausenlänge die nachfolgende Arbeit am längsten ohne Ermüdungserscheinungen durchgehalten werden kann. Hat man auf diese Weise die günstigste Verteilung zwischen Arbeit und Pausen ermittelt, so muß man noch das zulässige tägliche Arbeitsquantum bestimmen. Man steigert allmählich die tägliche Arbeitszeit und stellt am folgenden Morgen bei der gleichen Arbeit fest, wann eben Ermüdungsreste vom vorhergehenden Tage zurückgeblieben sind. Das ist das Zeichen, daß gerade die obere Grenze der optimalen Arbeitszeit überschritten worden ist.

Dieses Verfahren, das den ersten Eintritt der Ermüdung bei verschiedener Muskelarbeit zu erkennen gestattet, stellt natürlich an die Geduld des Experimentators und der Versuchsperson die größten Anforderungen. Bei der ungeheuren Wichtigkeit des Problems ist das aber gleichgültig. Als erschwerendes Moment kommt noch hinzu, daß die Ermüdbarkeit bei den einzelnen Individuen stark schwankt. Man muß also statistisch vorgehen, um den Durchschnittswert zu erhalten. Auch hier wird man den Ermüdungswert gewisser typischer, immer wiederkehrender Bewegungselemente feststellen müssen, in ähnlicher Weise, wie wir dies für unsere Rationalisierungsmethodik gezeigt haben.

Ich hoffe, daß Sie aus meinen Darlegungen den Eindruck gewonnen haben, daß die Arbeitsphysiologie sehr wohl imstande ist, unserer Wirtschaft in ihrem schweren Existenzkampf zu helfen. Sie werden mir aber nun mit Recht die Frage vorlegen, welche Rückwirkungen die Industrie auf die ganze Volksgemeinschaft ausübt. Es ist Ihnen ja bekannt, daß sowohl von nationalökonomischer wie auch besonders von rassenbiologischer Seite vor einer zu weitgehenden Industrialisierung gewarnt wird. Schafft eine blühende, mächtige Industrie auf der einen Seite Reichtümer, so stiftet sie auf der anderen Seite unheilbaren Schaden dadurch, daß sie zwangsläufig die Volksschichtung in einem rassenbiologisch äußerst ungünstigen Sinne verändert. Menschen, die im Bauernstaat sich kaum ihr Brot verdienen können, finden heute, im Zeitalter der Großbetriebe, als ungelernte Arbeiter ausreichenden Lohn und somit die Möglichkeit, eine Familie zu gründen. Und gerade diese Kreise sind es, die den größten Anteil an der Geburtenziffer gewinnen. Die gelernten Arbeiter und der Mittelstand hingegen gehen zahlenmäßig immer mehr zurück. Ihr Lebensniveau wird durch die Industrialisierung zwar gehoben, aber es ist eine alte Wahrheit, daß schon durch eine geringe Steigerung des Wohlstandes die Geburtenziffer zum Sinken gebracht wird. Die Gefahr ist also gegeben, daß die Proletarisierung immer weitere Kreise zieht, und die Geschichte lehrt uns, daß ein Volk, bei dem die disziplinlose, revolutionäre Masse die Oberhand gewinnt, dem Untergang geweiht ist.

Doch was nutzen uns heute solche Betrachtungen? Unsere verzweifelte Lage gestattet es uns ja

nicht, die Industrie einzuschränken. Im Gegenteil, nur wenn unsere Industrie blüht, winkt uns Befreiung aus dem Sklavenjoch. Um so notwendiger ist es dann aber, daß Techniker und Arbeitswissenschaftler die Möglichkeit schaffen, daß die Fabriken unter geringstem Menschenaufwand ihre Aufgabe erfüllen.

Das Ziel einer weitblickenden Staatsleitung sollte es sein, den selbständigen Bauernstand zu fördern und die Entwicklung der Industrie in solche Bahnen zu leiten, daß sie mit möglichst wenig Menschen den denkbar größten Wirkungsgrad entfaltet, um ihre für die kulturelle Entwicklung eines Landes so überaus wichtige Aufgabe zu erfüllen.

Grundlagen der Quantentheorie und des Bohrschen Atommodelles.

Von A. SOMMERFELD, München.

BOHRS Arbeiten von 1913 verbinden die RUTHERFORDsche Idee des Kernatoms (um 1910) mit der PLANCKschen Quantentheorie (1900).

Die Quantentheorie sieht eine abzählbare Reihe ausgezeichneter (stationärer oder „gequantelter") Zustände vor, und zwar ursprünglich für den Sonderfall des harmonischen Oscillators, welcher das Modell der Lichtquelle in der klassischen Optik bildete; sodann weiterhin für jedes stabile mechanische System, insbesondere für die Kern-Elektronensysteme, welche der BOHRschen Theorie als Atommodelle dienen. Die Atomzustände bilden also nach der Quantentheorie eine *diskontinuierliche Reihe*; die Elementarprozesse, welche das Atom aus einem dieser Zustände in einen anderen überführen, haben einen sprunghaften Charakter. Das alte Axiom von der Stetigkeit in der Natur wird aufgegeben. Die *ganze Zahl* („Quantenzahl"), welche die diskontinuierliche Reihe der Atomzustände ordnet, wird zur Beherrscherin der Physik und der physikalischen Gesetze.

Das einfachste Atom ist das Wasserstoffatom, ein Kern und ein Elektron. Seine quantentheoretische Behandlung wurde von BOHR schon 1913 vorgezeichnet. BOHR bestimmte mittels einer Quantenzahl („Hauptquantenzahl") die diskontinuierlichen Energiewerte des Wasserstoffatoms in seinen ausgezeichneten Zuständen. Er spricht ausdrücklich nicht nur von Kreis-, sondern auch von Ellipsenbahnen (Kepler-Ellipsen). Ellipsen- und Kreisbahnen gleicher großer Axe haben dieselbe Energie und sind von diesem Standpunkte aus gleichberechtigt. Die Kreis- und Ellipsenbahnen sind rein periodisch und haben nur *einen quantentheoretischen* Freiheitsgrad — bei *zwei mechanischen* Freiheitsgraden in der Ebene.

Die Diskontinuität der stationären Atomzustände spiegelt sich wieder in der diskontinuierlichen Linienfolge der Serienspektren. Das Gesetz der Linien-Emission und -Absorption ist dem EINSTEINschen Gesetz des lichtelektrischen Effektes nachgebildet und ist grundsätzlich verschieden von den klassischen Vorstellungen der Ausstrahlung. Das Kombinationsprinzip von RYDBERG und RITZ behauptet allgemein und ausnahmslos, daß die Strahlung zustande kommt durch Übergang des Atoms aus einem Anfangs- in einen Endzustand, und daß die Frequenz der Strahlung sich subtraktiv aus zwei solchen Zuständen berechnet.

Während das Spektrum des Wasserstoffs in seinen Hauptzügen wiedergegeben wird durch *eine* Quantenzahl, erfordert seine „Feinstruktur" zwei Quantenzahlen; das Wasserstoffproblem hat nämlich, relativistisch aufgefaßt, nicht nur zwei mechanische, sondern auch *zwei quantentheoretische Freiheitsgrade*. Vom BOHRschen Standpunkte aus folgt dies einfach aus der *Perihelbewegung* der Wasserstoffellipse. Zu der kurzen Periode des Umlaufs in der Bahn kommt die lange Periode des Perihelumlaufs hinzu. Ersterer entspricht die „Hauptquantenzahl", letzterer eine „Nebenquantenzahl".

In meiner ursprünglichen Behandlung des Problems vom Jahre 1916 geschah die Einführung der Quantenzahlen etwas anders. Ich benutzte entsprechend den beiden mechanischen Freiheitsgraden eine „radiale" und eine „azimutale" Quantenzahl. Die gleichzeitigen Messungen PASCHENS an den wasserstoffähnlichen Linien des ionisierten Heliums („BOHRS Heliumlinien") bestätigten Anzahl und Lage der errechneten möglichen Feinstrukturkomponenten. Wegen der zahlenmäßigen Übereinstimmung besteht noch eine gewisse Unsicherheit. Aber die qualitative Übereinstimmung ist in Hinsicht auf die Anordnung der Komponenten unverkennbar, so daß auch ihr relativistischer Ursprung kaum bezweifelt werden kann.

Qualitativ dieselben Bahnen treten in den wasserstoffunähnlichen Atomen auf, wo an Stelle der relativistischen Massenveränderung ein inneratomares Zentralfeld tritt, herrührend von der Wirkung der Elektronenhülle des Atoms auf das „Leuchtelektron". Die Periheldrehung der Bahn wird in diesem Falle viel stärker und daher die Aufspaltung der Linien viel größer. Wir haben nicht wie beim Wasserstoff eine Linienserie mit Feinstruktur, sondern verschiedene evtl. weit getrennte Serien, die durch die azimutale oder Nebenquantenzahl unterschieden sind. In meiner ursprünglichen Behandlung vom Jahre 1916 sprach ich, wie damals üblich, von der Wirkung einzelner Elektronenringe auf das Leuchtelektron und erhielt das Zentralfeld daraus im Zeitmittel. Außerdem schrieb ich die Quantenbedingungen wieder für die radiale und azimutale Koordinate einzeln an. Das Resultat war eine diskontinuierliche, zweifach unendliche Schar von Ellipsentypen. Sie wurden später in den Händen von BOHR die Bausteine für sämtliche Atommodelle in seiner Theorie des periodischen Systems und tragen jetzt den

von ihm vorgeschlagenen zweckmäßigen Namen „n_k-Bahnen".

Unmittelbar anschließend an meine erste Arbeit hat SCHWARZSCHILD eine mathematische Methode entwickelt, die Methode der Winkelkoordinaten und ihrer Transformation, durch die man von dem schnell veränderlichen Azimut des Bahnumlaufs zu dem langsam veränderlichen Azimut des Perihels übergeht. Es ist diejenige Methode, die BOHR der gegenwärtigen Darstellung seiner Theorie zugrunde legt, da sie seine ursprüngliche Auffassung vom Jahre 1913 naturgemäß weiterbildet. Sie hat den großen Vorteil, daß sie, in der Scheidung von Haupt- und Nebenquantenzahl, die verschiedenen Energieposten ihrer Größe nach ordnet und z. B. beim relativistischen Wasserstoff erkennen läßt, welche Bahnelemente von äußeren Störungen in erster Linie ergriffen werden (Exzentrizität, Gestalt und Lage der Bahn), welche erhalten bleiben (die durch die Hauptquantenzahl gegebene große Axe, Energie und Umlaufszeit). Jede Quantenzahl wird einer gewissen Periodizität zugeordnet und findet in dieser ihr anschauliches kinematisches Gegenbild.

Aber auch die von mir ursprünglich befolgte Methode — wir wollen sie nach ihrer mathematischen Verschärfung durch SCHWARZSCHILD und EPSTEIN die „Separationsmethode" nennen — hat ihre Vorzüge. Sie führt mittels der radialen Quantenbedingung unmittelbar zu der Serienformel; diese ist nichts anderes als die ausintegrierte und nach der Energie aufgelöste radiale Quantenbedingung, während sie bei der BOHRschen Anordnung der Quantelung etwas indirekt zum Vorschein kommt. Sodann aber möchte ich folgendes aussprechen:

Jede grundlegende physikalische Theorie muß letzten Endes deduktiv vorgehen. Die Mechanik wurde erst das Vorbild der wissenschaftlichen Methodik, als sie durch NEWTON auf einige wenige Axiome zurückgeführt war, aus denen die Erscheinungen deduziert werden konnten. Während MAXWELL seine elektromagnetische Theorie zunächst durch Analogien an die Dynamik anzuschließen suchte, wurde sie erst das, was sie heute ist, als er und namentlich als HERTZ dazu übergingen, ein System von partiellen Differentialgleichungen an die Spitze zu stellen, als die Axiome der Elektrodynamik. Die scheinbare mathematische Komplikation dieses Weges ist kein Gegengrund gegen die deduktive Methode, ebensowenig wie in der allgemeinen Relativitätstheorie. Denn alle Mathematik ist Selbstverständlichkeit und bedeutet niemals eine begriffliche Schwierigkeit.

Man kann sagen, daß die Quantentheorie noch nicht reif ist für eine rein deduktive Darstellung. Das ist sehr möglich; trotzdem dürfen wir uns diejenige ideale Form der Quantentheorie vorzeichnen, der sie sich mutmaßlich entgegen zu entwickeln hat.

Dann aber scheint es mir sicher, daß wir von der Gesamtheit der Zustandsmöglichkeiten auszugehen haben, die durch den sog. Phasenraum dargestellt werden, wie es PLANCK in seiner Arbeit von 1916 über die Struktur des Phasenraumes getan hat. Indem wir gewisse Gebiete dieses Phasenraumes in den kanonischen Variabeln p und q abgrenzen, kommen wir auf die sog. Phasenintegrale. Indem wir fragen, wann diese Integrale unabhängig voneinander ausgeführt werden können, werden wir auf die mehrfach periodischen Systeme und auf die Separationsmethode geführt. Der arithmetische Charakter rührt daher, daß die abgegrenzten Gebiete des Phasenraumes ganzzahlige Vielfache des PLANCKschen h sind.

Demgegenüber sucht BOHR in seinem *Korrespondenzprinzip* die Quantentheorie eng an die klassische Strahlungstheorie anzuschließen. Er geht möglichst induktiv und physikalisch vor, indem er schrittweise jede Quantenzahl einer Bewegungsperiode zuordnet. Die Zauberkraft des Korrespondenzprinzips hat sich allgemein bewährt, bei den Auswahlregeln der Quantenzahlen, in den Serien- und Bandenspektren. Das Prinzip ist der Leitfaden geworden für alle neueren Entdeckungen BOHRs und seiner Schüler. Trotzdem kann ich es nicht als endgültig befriedigend ansehen, schon wegen seiner Mischung quantentheoretischer und klassischer Gesichtspunkte. Ich möchte das Korrespondenzprinzip als eine besonders wichtige Folge der zukünftigen, vervollständigten Quantentheorie, aber nicht als deren Grundlegung ansehen.

Was mich in dieser Auffassung bestärkt, sind namentlich die Utrechter Intensitätsmessungen der Spektrallinien. Sie zeigen, daß die Intensitäten innerhalb eines Multipletts, also die Häufigkeiten der Übergänge aus einem Anfangs- in einen Endzustand, durch einfachste arithmetische Regeln bestimmt werden mittels gewisser ganzzahliger Quantengewichte, die sich aus den Zustandsmöglichkeiten im Phasenraum ableiten. Auch die Intensitäten in den Zeeman-Aufspaltungen ergeben sich nach analogen Regeln als ganzzahlig. Eine korrespondenzmäßige Behandlung der Intensitätsfragen liefert nur Näherungswerte, auf einem Wege, der der arithmetischen Einfachheit der Tatsachen wenig angemessen scheint.

Sehr bemerkenswert ist bei diesen Intensitätsregeln die Vertauschbarkeit von Anfangs- und Endzustand. Es sieht so aus, als ob das Geschehen nicht gegeben würde durch eine Wahrscheinlichkeit für den Anfangszustand des Atoms und eine Wahrscheinlichkeit für den Übergang in den Endzustand, sondern als ob Anfangs- und Endzustand durch ihre betreffenden Quantengewichte das Geschehen gleichberechtigt bestimmten. Dies würde unserem hergebrachten Kausalitätsgefühl einigermaßen widersprechen, nach dem wir uns gern den Ablauf des Prozesses bereits durch die Anfangsdaten festgelegt denken. Es scheint mir nicht ausgeschlossen, daß die Quantenerfahrungen in dieser Hinsicht unsere Vorstellungen umbilden könnten. Es ist ja oft hervorgehoben worden, daß bei der BOHRschen Ausstrahlungsbedingung das Atom

vorher wissen müsse, in welchen Zustand es schließlich übergehen wolle, bevor es strahlen kann. Auch im Prinzip der kleinsten Wirkung nehmen wir einen teleologischen, keinen kausalen Standpunkt ein. Eine solche teleologische Umbildung der Kausalität scheint mir der Quantentheorie weniger zu widerstreben als der klassischen Theorie.

Was wir jedenfalls fordern müssen, solange es eine Naturwissenschaft geben soll, ist die eindeutige Bestimmtheit des beobachtbaren Geschehens, die mathematische Sicherheit der Naturgesetze. Wie diese Eindeutigkeit zustande kommt, ob sie allein durch den Anfangszustand gegeben ist oder durch Anfangs- und Endzustand gemeinsam, können wir nicht a priori wissen, sondern müssen wir von der Natur lernen.

In diesem Zusammenhange möchte ich einige Worte sagen über die Zuverlässigkeit unserer Modellvorstellungen. Die Schwierigkeiten, die heutzutage immer deutlicher in der Atomphysik hervortreten, scheinen mir weniger in einer übertriebenen Anwendung der Quantentheorie als vielmehr in einem vielleicht übertriebenen Glauben an die Realität der Modellvorstellungen zu liegen. Sicherlich funktioniert das Wasserstoffmodell in allen Fällen richtig (außer vielleicht bei starken Magnetfeldern) und sicherlich ist BOHRS Erklärung der chemischen Systematik des periodischen Systems in großen Zügen zuverlässig. Aber die Erscheinungen sind vielfach einfacher, als wir es nach den Modellen erwarten würden. Man denke an die durchgehende Einfachheit der Röntgenspektren und vergleiche sie mit der unübersehbaren Komplikation, die sich aus den gegenseitigen Störungen der Elektronenbahnen in einem komplizierten Atomaufbau ergeben würden. Schon das nächst dem Wasserstoff einfachste Atom des Heliums führt auf Widersprüche. Besonders greifbar sind die Schwierigkeiten in der Theorie des anomalen Zeemaneffektes. Wir kennen hier zwar für eine große Klasse von Zeemaneffekten dank LANDES Analyse der Termaufspaltungen die tatsächlichen Gesetze genau, aber wir sehen zugleich, daß sie nicht aus einem einfachen Modell folgen können. Es hat vielmehr den Anschein, als ob erst zwei ganzzahlig benachbarte Zustände im Phasenraum das magnetische Verhalten des einzelnen Termes bestimmen. Das Atommodell wäre dann mehr ein Rechenschema als eine Zustandsrealität. Für die Anschaulichkeit unserer Modellvorstellungen wäre das zwar sehr bedauerlich. Aber es wäre immerhin erträglich für unsere Forderung nach der eindeutigen mathematischen Bestimmtheit der Theorie.

Zum Schlusse kommen wir auf die große Frage der Zukunft, die Frage nach der *Natur des Lichtes*. Ist die Wellentheorie des Lichtes, die uns allen ans Herz gewachsen ist und, mehr als das, ist die Theorie des kontinuierlichen elektromagnetischen Feldes überhaupt noch verträglich mit dem heutigen Erfahrungsmaterial? Oder werden wir gezwungen zu einer Art NEWTONscher Lichtkorpuskeln zurückzukehren? Zur Zeit liegen drei Auffassungen vor.

1. EINSTEIN hofft möglicherweise die Feldtheorie beibehalten zu können, die mit unseren allgemeinen Anschauungen von Raum, Zeit und Schwerkraft so eng verknüpft ist, dadurch, daß er überbestimmte Feldgleichungen einführt, überzählige Bindungen von relativistisch kovariantem Charakter, derart, daß durch sie aus der kontinuierlichen Mannigfaltigkeit der Feldmöglichkeiten die quantentheoretisch erlaubten diskontinuierlichen Zustände herausgehoben werden. Dieser Standpunkt wäre, wenn durchführbar, äußerst befriedigend; er würde die ganzen Errungenschaften der Wellentheorie konservieren. Aber er ist zur Zeit nur ein Programm.

2. Das gegenteilige Extrem, das in seinen Anfängen vom Jahre 1905 ebenfalls auf EINSTEIN zurückgeht und das in EINSTEINS Strahlungstheorie vom Jahre 1916 voll entwickelt worden ist, ist die radikale Lichtquantentheorie. Die Wellentheorie würde von diesem Standpunkt aus nur eine kontinuierliche Enveloppe von im Grunde diskontinuierlichen und einseitig gerichteten Quantenprozessen sein, ähnlich wie die kontinuierliche Zustandsgleichung der Gase nur eine Enveloppe der diskontinuierlichen gaskinetischen Einzelprozesse bedeutet. Den schönsten Triumph feierte diese Auffassung bei der Erklärung des fundamentalen Compton-Effektes. Eine starke Stütze dieses Standpunktes liegt darin, daß bei ihm Energie- und Impulssatz für den Einzelprozeß erhalten bliebe. Aber wie die Tatsachen der Interferenz, der Dispersion, der Elektrostatik usw. einzuordnen sind, bleibt vorläufig dunkel.

3. BOHR, KRAMERS und SLATER haben einen Kompromißstandpunkt eingenommen, von dem aus die eigentlichen Atomprozesse durch Wahrscheinlichkeitsregeln quantentheoretisch bestimmt werden, die Wahrscheinlichkeiten selbst aber durch eine (virtuelle) Wellenstrahlung induziert werden. Energie- und Impulssatz gelten dann nur im statistischen Mittel. Es scheint auf diesem Wege möglich, die Resultate der Wellentheorie und Quantentheorie gleichzeitig zu konservieren, freilich unter Verzicht auf die Einheitlichkeit des Erklärungsgrundes. Wir hoffen, daß wir bald durch Experimente Aufklärung über die Möglichkeit oder Unmöglichkeit dieses Vorschlages erhalten werden.

Wie auch diese brennenden Fragen entschieden werden mögen und welche Wandlungen unsere Grundanschauungen in nächster Zeit auch durchmachen mögen, sicher wird die Quantentheorie in irgendeiner Form und sicher werden BOHRS Atommodelle in irgendeiner Form ein unveräußerlicher Besitz der Physik bleiben.

Die chemischen Eigenschaften der Atome nach der Bohrschen Theorie.

Von H. A. KRAMERS, Kopenhagen.

Zu den grundlegenden Merkmalen der chemischen Atome gehören wohl in allererster Stelle ihre *Unzerstörbarkeit* und ihre *Stabilität*. Unter der Unzerstörbarkeit versteht man zunächst die Erhaltung der Anzahl und der Masse der einzelnen Atome, während man die Stabilität definieren könnte als die diskrete Bestimmtheit und Unzerstörbarkeit ihrer chemischen Eigenschaften. Man kann geradezu sagen, daß DALTONS Atomtheorie darauf hinausging zu zeigen, daß die Veränderung und Zerstörung, welche die Eigenschaften der Stoffe bei chemischen Umwandlungen erleiden, in verhältnismäßig einfacher Weise auf Kombinationen von unveränderlichen und unzerstörbaren Elementarteilchen zurückgeführt werden konnten, von denen nur eine endliche Anzahl verschiedener Sorten in der Natur anwesend sind; gewissermaßen waren also die Merkmale von Unzerstörbarkeit und Stabilität erforderlich zur *Definition des Atombegriffs*. Es ist Ihnen allen wohlbekannt, wie es, hauptsächlich auf Grund von physikalischen Untersuchungen in neuerer Zeit, möglich gewesen ist, den Atombegriff viel genauer zu präzisieren, wobei es sogar ans Licht kam, daß die Unzerstörbarkeit und Stabilität der Atome gewissen Einschränkungen unterworfen sind. Jene Untersuchungen kulminierten in der Aufstellung des *Rutherfordschen Atommodells*, nach dem man jedes Atom als ein aus elektrischen Elementarteilchen bestehendes Gebilde auffassen darf; ein schwerer positiv geladener Kern, dessen Masse sehr nahe der Atommasse gleich ist, hält vermöge seines elektrischen Feldes im umgebenden Raum eine Anzahl von negativen Elektronen an sich gebunden; die gegenseitige Entfernung der Teilchen ist jedoch groß, verglichen mit der Ausdehnung, die den Teilchen selbst beizulegen ist. Eine wesentliche Folge dieser einfachen Struktur ist, daß die chemischen Eigenschaften eines solchen Atoms nur durch die Anzahl von positiven Elementarladungen im Kerne bestimmt sind, also durch die „Atomnummer", während die anderen Eigenschaften des Kerns, ihre Schwere und eventuelle Struktur jene Eigenschaften nicht oder nur äußerst wenig beeinflussen. Die chemischen Eigenschaften des Atoms sind nur unveränderlich, solange sich die Atomnummer nicht ändert; solchen Änderungen begegnen wir aber tatsächlich in den radioaktiven Umwandlungen und in den Rutherfordschen Versuchen über Atomzertrümmerung.

Die hier geschilderte genaue und erstaunlich einfache Fassung des Atombegriffs setzte der theoretischen Atomforschung das Programm, *die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Atome als Funktion der Atomnummer allein, und zwar in eindeutiger Weise zu erklären, auf Grund von allgemeinen Gesetzen über die Wechselwirkung in Raum und Zeit zwischen elektrischen Elementarteilchen*. Wir sind heute noch sehr weit von der Erfüllung dieses Programms entfernt; ich werde Ihnen aber über die Erfolge, die die Bohrsche Theorie bisher gehabt hat, berichten.

Das erste Grundpostulat dieser Theorie, das Postulat der Existenz diskreter stabiler *stationärer Zustände* eines Atoms oder Atomsystems, gibt nun zunächst der Stabilität der Atome Ausdruck; es erklärt die Stabilität nicht, es ist vielmehr ein Versuch, die empirische Tatsache der Stabilität von Anfang an sachgemäß zu fassen. Die Theorie des Wasserstoffspektrums, in der nun auch noch das zweite Grundpostulat, die *Bohrsche Frequenzbedingung* auftritt, gibt das einfachst denkbare vollständige Beispiel einer Reihe von stationären Zuständen, deren ein Atomsystem fähig ist. Der sogenannte Normalzustand entspricht dem normalen Zustande des isolierten chemischen Wasserstoffatoms, die anderen Zustände entsprechen sozusagen kurzlebigen aktivierten Zuständen des atomaren Wasserstoffs. Mit rein chemischen Mitteln war es bisher nie möglich gewesen, die Existenz solcher aktivierten Zustände so scharf zu fassen, wie es in diesem Beispiel möglich ist.

Der Erfolg der Theorie des Wasserstoffspektrums ist dem Umstande zu verdanken, daß die Bewegung in den stationären Zuständen sich hier beschreiben läßt mit Hilfe der klassischen Elektrodynamik, oder — etwas anders ausgedrückt — mit Hilfe der Mechanik unter Zugrundelegung des Coulombschen Anziehungsgesetzes. Daß dieses möglich ist, kann gar nicht als selbstverständlich angesehen werden, denn die Bohrschen Grundpostulate selbst stehen in offenem Widerspruch zur klassischen Elektrodynamik. So lassen sich die merkwürdigen Übergänge zwischen stationären Zuständen, ob sie nun durch Strahlung oder durch Stöße angeregt sind, prinzipiell nicht in klassischer Weise beschreiben, auch nicht beim Wasserstoffatom, und dasselbe gilt für die Wechselwirkung mit dem Strahlungsfelde. Zwar besteht, nach den neuesten Bohrschen Ansichten, für das Strahlungsfeld die weitgehende Analogie mit den klassischen Anschauungen, daß es sich immer als kontinuierlich beschreiben läßt, und daß die Änderungen, die es auf Grund der Anwesenheit von Atomen erleidet, eindeutig durch den augenblicklichen Zustand dieser Atome bestimmt sind; die Übergänge selbst sind aber prinzipiell diskontinuierlich, und ihr Vorkommen ist nicht eindeutig kausal, sondern durch Wahrscheinlichkeitsgesetze bestimmt. Dieser Umstand ist von außerordentlich großer Bedeutung für unsere allgemeine Vorstellung von chemischen Reaktionen zwischen Atomen oder Molekeln; schon das Resultat der gewöhnlichen elastischen Stöße von Gasmolekeln müssen wir uns als durch Wahrscheinlichkeitsgesetze beherrscht denken, und in die Theorie der chemischen Reaktionsgeschwindigkeiten greift die Vorstellung, daß die Elementarprozesse durch Gesetze dieser

Art beherrscht werden, vereinfachend und, wenn ich mich nicht irre, fruchtbar ein.

Kehren wir zum Wasserstoffatom zurück, wo es sich, wie gesagt, möglich erwiesen hat, den stationären Zuständen mechanische Bewegungszustände zuzuordnen. Diese Bewegungszustände werden durch eine sogenannte *Quantenzahl* festgelegt, die nur ganzzahlige Werte annehmen kann. Die Eigenschaft der Bewegung, die durch diese Zahl bestimmt wird, hängt in einfacher und eindeutiger Weise eng mit dem Charakter der Bewegung zusammen. Es ist jedoch charakteristisch für die Theorie, daß die Festlegung der stationären Zustände außerdem die Hinzunahme der Planckschen Konstante h, des sogenannten Wirkungsquantum fordert; das Auftreten dieser universellen physikalischen Konstante steht dem Wesen der Elektrodynamik fremdartig gegenüber und ist geradezu typisch für das was wir Quantentheorie nennen.

Bekanntlich ließen sich die Regeln, die in der Theorie des Wasserstoffspektrums so erfolgreich waren, in bedeutender Weise verallgemeinern und vertiefen; besonders die Erkenntnis, daß im allgemeinen eine *Anzahl von Quantenzahlen* zur Klassifizierung der stationären Zustände eines Atomsystems heranzuziehen sind, und die Klarlegung des Zusammenhangs dieser Klassifikation mit der Art der Bewegung bildet einen bedeutenden Fortschritt. Trotzdem sind diese Regeln nicht dazu genügend, um uns in eindeutiger, quantitativer Weise zu einer Beschreibung der stationären Zustände von mehr verwickelten Atomsystemen zu führen.

Der erste Angriff in dieser Richtung findet sich schon in den Bohrschen Abhandlungen von 1913, in denen es versucht wurde, mit der an und für sich willkürlichen, aber sehr einfachen Annahme durchzukommen, daß in Atomen und Molekeln mit mehreren Elektronen die Elektronen in Ringen angeordnet sind und nach den Gesetzen der Mechanik kreisförmige oder fast kreisförmige Bahnen beschreiben. In Analogie mit den Quantenregeln beim Wasserstoffatom wurde dabei das Impulsmoment jedes Elektrons gleich $h/2\pi$ gesetzt. Das bekannteste dieser alten Bohrschen Modelle bildet das Modell der Wasserstoffmolekel, in dem die zwei Elektronen in gleichem Abstand von beiden Kernen in einer Kreisbahn rotieren. Wir wissen jetzt, daß solche Modelle nicht das Richtige treffen. Teils versagen sie, wo eine quantitative Prüfung möglich ist, sowie bei der Dissoziationswärme des Wasserstoffs, oder bei der Ionisationsarbeit des Heliumatoms, teils scheint es schon in rein qualitativer Hinsicht nicht möglich, in dieser Weise zu Modellen zu gelangen, deren Eigenschaften genügend charakteristische Unterschiede aufweisen, damit man hoffen könnte, daß sie etwas mit den Eigenschaften der wirklichen Elemente zu tun hätten. Trotzdem kann man den Ringmodellen eine gewisse Bedeutung nicht untersagen. So kann man sagen, daß das alte Wasserstoffmodell als vereinfachtes quantentheoretisches Schema für eine nicht-polare Bindung von zwei Atomen gelten kann, bei der ein und dasselbe Elektron für zwei Atome in der Molekel eine gleichwertige Rolle spielt. Diese Idee von Bindungselektronen (shared electrons) findet sich schon in STARKS alten Betrachtungen über Atomdynamik und in LEWIS' und LANGMUIRS Modellen von homeopolaren Bindungen; die Überlegungen dieser Autoren sind aber rein qualitativ und es kommt in ihnen eigentlich nichts von Kernmodell oder Quantentheorie vor.

Besonders durch das Studium der Atomspektren und Molekülspektren ist man in den letzten Jahren doch ein wenig vorgedrungen in das Problem von Atomen und Atomsystemen mit mehreren Elektronen. Eins der wichtigsten Ergebnisse ist, daß man sicherlich nicht hoffen kann, daß den stationären Zuständen dieser Systeme gewisse, in allen Einzelheiten mechanisch beschreibbare Bewegungszustände zuzuordnen sind, so wie dies beim Wasserstoff der Fall war. Gleichzeitig aber hat sich gezeigt, daß eine Klassifikation der stationären Zustände mittels Quantenzahlen immer in weitem Umfang möglich ist. Es hat vielleicht den Anschein, daß eine solche Möglichkeit eine rein formelle Angelegenheit ist; durch das Bohrsche Korrespondenzprinzip sind wir aber imstande, unter Heranziehung der empirischen Gesetzmäßigkeiten der Spektren, jene Klassifikation mit dem Typus der Bewegung im Atom in Verknüpfung zu bringen, ohne irgendwelche Rücksicht auf die mechanische Beschreibbarkeit dieser Bewegung. Auf solche Weise ist ein Anfang gemacht worden mit der Lösung des Problems von der *Bedeutung der Quantenzahlen*.

Die endgültige quantitative Lösung der Atomprobleme scheint durch diese neuere Entwicklung der Theorie aber weiter von uns weggerückt zu sein. Wir ahnen das Walten einer Supermechanik oder, wie man es oft sagt, einer Quantenmechanik, in den Atomen und Molekeln, von deren Gesetzen wir aber so gut wie nichts wissen. Besonders schlimm steht es in dieser Hinsicht mit dem Bau der *Molekeln*. Aus den Bandenspektren lernt man ja viel über Rotation von Molekeln und über die Schwingungen der in ihnen enthaltenen Atomkerne; für die intramolekularen Elektronenbewegungen hat man aber fast keine empirischen Anhaltspunkte. Wir kennen ja nicht das Modell des einfachsten Moleküls, und wenn wir z. B. die Bahn der Bindungselektronen durch Quantenzahlen festlegen wollten, würden wir nicht einmal wissen, was solche Quantenzahlen vielleicht bedeuten könnten.

Bei dem Bau der *Atome* sind wir in einer etwas glücklicheren Lage als bei dem Molekülbau. In den letzten Jahren ist es nämlich BOHR gelungen, in großen Umrissen ein Bild des Atombaus zu entwerfen, das eine natürliche quantentheoretische Deutung darbietet von den empirischen Gesetzen, nach denen sich die Eigenschaften der Elemente mit steigender Atomnummer ändern. Eine Grund-

annahme dieser *Bohrschen Theorie des periodischen Systems* ist die Annahme, daß die periodische Wiederholung von Eigenschaften, der man beim Fortschreiten in der Reihe der Elemente begegnet, auf eine *Gruppen- oder Schaleneinteilung der Elektronen* im Atom zurückzuführen ist. Eine solche Auffassung, die in neuerer Zeit besonders von KOSSEL und LEWIS ausgearbeitet wurde, findet sich schon in den alten Atommodellen von KELVIN und J. J. THOMSON. Letzterer hat sich besonders darum bemüht, die Valenzverhältnisse im periodischen System mit der Existenz von gewissen Elektronenkonfigurationen ausgezeichneter Stabilität in Verbindung zu bringen. Diese stabilen Konfigurationen findet man in den neutralen Atomen der Edelgase, die man ja als Meilpfähle im periodischen System der Elemente bezeichnen könnte. Die Atome der auf ein Edelgas folgenden Elemente, der Alkalimetalle, erreichen diese Konfigurationen, wenn sie ein Elektron abgeben; die Atome der Erdalkalien, wenn sie zwei Elektronen abgeben, die Atome der Halogene, wenn sie ein Elektron aufnehmen, usw. In dieser Weise werden die regelmäßigen Valenzverhältnisse in der Umgebung der Edelgase gedeutet. Das Zustandekommen dieser stabilen Elektronkonfigurationen stellt man sich am einfachsten so vor, daß sich jedesmal beim Fortschreiten von einem Edelgase zum nächsten eine neue stabile Elektronengruppe außerhalb der schon vorhandenen Gruppe lagert. Man kann jedoch keineswegs sicher davon sein, daß die schon vorhandenen Gruppen sich dabei unveränderlich verhalten, und aus den chemischen Tatsachen möchte man sogar entnehmen, daß in gewissen Fällen, nämlich bei den Eisentriaden und bei den seltenen Erden, Elektrongruppen im Innern des Atoms bei fortschreitender Atomnummer eine Veränderung erfahren.

Betrachtungen der geschilderten Art spielten eine große Rolle bei der Deutung der Atomeigenschaften auf Grundlage der Quantentheorie mittels Elektronringen, die 1913 von BOHR versucht wurde. Unabhängig von der Quantentheorie wurde später die Theorie des Schalenbaus des Atoms in mehr chemischer Hinsicht vertieft durch die Untersuchungen von KOSSEL und von LADENBURG in Deutschland, und in etwas anderer Richtung durch LEWIS und LANGMUIR in Amerika. Wichtige *quantentheoretische* Angriffe auf das Problem des Schalenbaus nach 1913 bildeten u. a. die LANDEschen Modelle, bei denen angenommen wurde, daß die Bahnebenen der Elektronen einer stabilen Schale verschiedene Stellung im Raume einnehmen, und die an die Deutung der Röntgenspektren anknüpfenden Versuche von SOMMERFELD und von VEGARD, die Elektronenbahnen der aufeinanderfolgenden Schalen nach steigender Quantenzahl zu klassifizieren. Es schien jedoch, als ob unüberwindliche Schwierigkeiten der näheren Ausführung solcher Gedanken entgegenstanden.

In der neuen Bohrschen Theorie wird nun eine quantentheoretische Deutung des Gruppenaufbaus gegeben, die in engster Beziehung steht zu den Erfahrungen, die aus dem Studium der Serienspektren und der Röntgenspektren gewonnen sind. Diese Erfahrungen deuten darauf hin, daß in den stationären Zuständen die Bahn eines jeden Elektrons im Atom mit großer Annäherung als eine *Zentralbewegung* beschrieben werden kann und nach den für solche Bewegungen geltenden Quantenregeln durch zwei Quantenzahlen n und k zu charakterisieren ist. Die verschiedenen Schalen des Atoms werden gebildet durch Gruppen von Elektronenbahnen, die je einem bestimmten Werte der Hauptquantenzahl n entsprechen. Vom Kern nach außen gerechnet ordnen sich diese Gruppen nach steigender Hauptquantenzahl anfangend mit eins. Die Elektronenbahnen jeder Gruppe verteilen sich auf Untergruppen von untereinander gleichwertigen Elektronenbahnen, die je einem bestimmten Wert der Nebenquantenzahl k entsprechen. Die Möglichkeit, einem solchen Bilde des Atombaus eine bestimmte Bedeutung zuzuschreiben und quantitative Betrachtungen über dasselbe anzustellen, beruht auf dem Umstande, daß die Elektronenbahnen in erster Näherung als mechanische Bewegungen beschrieben werden können. Diese Bewegungen finden in dem annähernd zentralen Kraftfelde, das vom Kerne und von den anderen Elektronen herrührt, statt und es sind ihnen durch die Werte von n und k ganz bestimmte, aus der Sommerfeldschen Theorie bekannte Bedingungen auferlegt, welche es gestatten, solche Größen wie Dimension und Gestalt der Bahnen näherungsweise abzuschätzen. Die Lagen im Raum der verschiedenen Bahnebenen der Elektronen in einer und derselben Untergruppe sind als verschieden voneinander anzunehmen, aber über ihre genaue Orientierung läßt sich bisher nichts Sicheres sagen. Die folgende Tabelle gibt die Anzahl der Elektronen in den verschiedenen Untergruppen, so wie BOHR sie für die neutralen Atome einer Reihe von Elementen vorgeschlagen hat. Eingeklammerte Zahlen deuten auf eine Unsicherheit in der Theorie.

Es wäre nun angemessen, einige Worte darüber zu sagen, durch was für Betrachtungen BOHR zu den zum Teil recht detaillierten Angaben der Tabelle gelangt ist. Eine solche Auseinandersetzung ist geradezu erforderlich, wenn es darum zu tun ist, die Bedeutung und die wesentlichen Züge des ganzen Bildes klar zu fassen, und wenn man genau nachschauen will, inwieweit die Resultate der Erfahrung entnommen sind und inwieweit sie aus rein quantentheoretischen Gründen erschlossen sind. Ich muß mich leider kurz fassen. Der Grundgedanke ist, daß sich ein neutrales Atom in eindeutiger Weise aufbauen läßt, indem ein anfänglich isolierter Atomkern instand gestellt wird, sukzessiv Elektronen einzufangen. Das Endresultat eines jeden solchen mit Ausstrahlung verbundenen Einfangungsprozesses besteht darin, daß das betreffende Elektron in einer n_k-Bahn im Feld

N \ nk	1_1	$2_1 2_2$	$3_1 3_2 3_3$	$4_1 4_2 4_3 4_4$	$5_1 5_2 5_3 5_4 5_5$	$6_1 6_2 6_3 6_4 6_5 6_6$	$7_1 7_2$
1 H	1						
2 He	2						
3 Li	2	1					
4 Be	2	2					
5 B	2	2 1					
– –	–	– –					
10 Ne	2	[4 4]					
11 Na	2	4 4	1				
12 Mg	2	4 4	2				
13 Al	2	4 4	2 1				
– –	–	– –	– –				
18 A	2	4 4	[4 4]				
19 K	2	4 4	4 4	1			
20 Ca	2	4 4	4 4	2			
21 Sc	2	4 4	4 4 1	(2)			
22 Ti	2	4 4	4 4 2	(2)			
– –	–	– –	– – –	–			
29 Cu	2	4 4	[6 6 6]	1			
30 Zn	2	4 4	6 6 6	2			
31 Ga	2	4 4	6 6 6	2 1			
– –	–	– –	– – –	– –			
36 Kr	2	4 4	6 6 6	[4 4]			
37 Rb	2	4 4	6 6 6	4 4	1		
38 Sr	2	4 4	6 6 6	4 4	2		
39 Y	2	4 4	6 6 6	4 4 1	(2)		
40 Zr	2	4 4	6 6 6	4 4 2	(2)		
– –	–	– –	– – –	– – –	–		
47 Ag	2	4 4	6 6 6	[6 6 6]	1		
48 Cd	2	4 4	6 6 6	6 6 6	2		
49 In	2	4 4	6 6 6	6 6 6	2 1		
– –	–	– –	– – –	– – –	– –		
54 X	2	4 4	6 6 6	6 6 6	[4 4]		
55 Cs	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4	1	
56 Ba	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4	2	
57 La	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4 1	(2)	
58 Ce	2	4 4	6 6 6	6 6 6 1	4 4 1	(2)	
59 Pr	2	4 4	6 6 6	6 6 6 2	4 4 1	(2)	
– –	–	– –	– – –	– – – –	– – –	–	
71 Cp	2	4 4	6 6 6	[8 8 8 8]	4 4 1	(2)	
72 Hf	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	4 4 2	(2)	
– –	–	– –	– – –	– – – –	– – –	–	
79 Au	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	[6 6 6]	1	
80 Hg	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	2	
81 Tl	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	2 1	
– –	–	– –	– – –	– – – –	– – –	– –	
86 Em	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	[4 4]	
87 –	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4	1
88 Ra	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4	2
89 Ac	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4 1	(2)
90 Th	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4 2	(2)
– –	–	– –	– – –	– – – –	– – –	– – –	–
118 ?	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	[8 8 8 8]	[6 6 6]	[4 4]

des Kerns und der früher eingefangenen Elektronen umherläuft, in der es nicht mehr strahlen kann; der Normalzustand des Atomions ist erreicht. Es kommt nun jedesmal darauf an, welche Werte jenes n und k haben, und teilweise mit Hilfe der Spektren, teilweise an der Hand der Quantentheorie der Zentralbewegung läßt sich vieles darüber sagen. Nur die ersten zwei Elektronen lassen sich in Einquantenbahnen 1_1 fangen. Damit ist die einquantige Gruppe abgeschlossen; das dritte Elektron gelangt bei der Einfangung in eine 2_1-Bahn. Dieser Umstand ist ein Beispiel eines allgemeinen Zuges, den man beim empirischen Studium der Spektren hat kennen gelernt, und äußert sich in dem vorliegenden Falle sofort in den Eigenschaften des Lithiumspektrums. Korrespondenzmäßige Betrachtungen scheinen nach BOHR einiges Licht auf die sonst so dunkle Frage zu werfen, weshalb dem Elektron bei der Einfangung gewisse Quantenbahnen mit niedrigen n- und k-Werten verweigert sind. Es bildet diese *Abschließung von Gruppen*, wie man sie nennt, ein Problem, das mit der gegenseitigen Kopplung der Elektronen im Atom zusammenhängt; die Gesetze dieser Kopplung scheinen eng mit dem früher erwähnten Versagen der Mechanik bei der Beschreibung der Einzelheiten der stationären Zustände verknüpft zu sein; wir besitzen aber heute noch keine befriedigende Einsicht in diese Gesetze.

Wenn das zehnte Elektron eingefangen ist, ist auch die Zweiquantengruppe abgeschlossen. Wir wissen nur rein empirisch, daß sie 8 Elektronen besitzt; typisch für ihren Aufbau ist, daß sie teilweise aus 2_1, teilweise aus 2_2-Elektronen bestehen muß, wahrscheinlich 4 von beiden. Diese Teilung in Untergruppen ist aus den chemischen Tatsachen nicht abzuleiten; sie ist aber, wie BOHR ausdrücklich betont hat, eine notwendige Forderung, damit die Gruppenbildung überhaupt eine quantentheoretische Deutung erlangen kann. Typisch dabei ist, daß die Elektronenbahnen mit der niedrigeren Nebenquantenzahl, also die 2_1-Bahnen in das Gebiet der 1_1-Bahnen hineingreifen, während die zirkularen 2_2-Bahnen außerhalb dieses Gebiets bleiben.

Von außerordentlichem Interesse ist nun die Diskussion des Aufbaus der Dreiquantengruppen ($n = 3$). Nach dem Einfangen des 18. Elektrons ist diese zu einem Stadium von Abgeschlossenheit gelangt (vier 3_1-Bahnen und vier 3_2-Bahnen) bei solchen Atomen, wo der Kern weniger als 21 Elementarladungen besitzt. Das äußert sich darin, daß bei dem Kalium und Calcium das 19. Elektron in eine 4_1-Bahn gebunden wird, weil diese einer stärkeren Bindung entspricht als eine 3_3-Bahn. Dieses Verhältnis steht im Gegensatz zu den Verhältnissen bei einem Atom mit einem Elektron, wo eine vierquantige Bahn immer einer schwächeren Bindung entspricht als eine dreiquantige; es hat aber, wie BOHR auf Grundlage der Theorie für Zentralbewegungen nachwies, seinen Grund darin, daß das Elektron in einer 4_1-Bahn periodisch in das Innere des Atomions hineintaucht und dort einem viel stärkeren Kraftfelde ausgesetzt ist als auf den äußeren Teilen seiner Bahn, während ein solches Eintauchen bei den 3_3-Bahnen nicht stattfinden kann. Dieser Unterschied wird indessen weniger bedeutend bei größeren Kernladungen, und im Scandium begegnen wir eben zum erstenmal dem Fall, daß für das 19. Elektron die 3_3-Bahn es in der Bindungsstärke von der 4_1-Bahn gewinnt. Von diesem Element an findet nun eine allmähliche Entwicklung der dreiquantigen Gruppe statt, also eine *Umlagerung einer inneren Gruppe*, wie sie schon früher erwähnt wurde; die vierquantige Gruppe muß warten, bis die dreiquantige Gruppe im neutralen Kupferatom zum erstenmal völlig abgeschlossen ist und keiner weiteren Entwicklung durch die Aufnahme neuer Bahntypen fähig ist. Im Krypton hat endlich die vierquantige Gruppe eine vorläufige Abgeschlossenheit erreicht. Daß die vollständige dreiquantige Gruppe eben aus 18 Elektronen be-

stehen sollte, ließ sich nicht vorhersagen. Der große Triumph für die Theorie liegt aber in dem Umstande, daß sie das Eintreten einer Umwandlung der dreiquantigen Gruppe in der Nähe der Atomnummer 21 vorauszusagen gestattet und so eine natürliche Erklärung dafür gibt, daß die Elemente in der vierten Periode des natürlichen Systems in ihren Eigenschaften die Elemente in der dritten und zweiten Periode nicht einfach nachahmen, sondern für eine gewisse Reihe von Atomnummern neuartige Eigenschaften besitzen. Das Auftreten von Elementen, die mit Elementen niedriger Atomnummer homolog sind, fängt erst etwa beim Kupfer wieder an. Es sei in dieser Verbindung noch auf einen sehr wichtigen allgemeinen Punkt aufmerksam gemacht. Die Möglichkeit, daß ein Element hoher Atomnummer und ein solches niedriger Atomnummer einander in ihren chemischen und physischen Eigenschaften ähnlich sind, wird auf eine weitgehende Ähnlichkeit in der Gruppe der leichtest gebundenen Elektronen bei den neutralen Atomen dieser Elemente zurückgeführt. Diese Ähnlichkeit wird sich, außer auf die Anzahl, auch auf Größen wie Bahndimensionen und Bindungsstärke beziehen. Auf der anderen Seite werden die Bahnen dieser Elektronen in den zwei Elementen durch zwei verschiedene Werte der Hauptquantenzahl gekennzeichnet sein. Daß trotzdem eine Ähnlichkeit in Größe und Bindungsstärke vorhanden sein kann, ist in dem wichtigen Umstand begründet, daß die betreffenden Elektronen periodisch in die tiefer liegenden Elektronengruppen eindringen. Die Unterschiede der Hauptquantenzahl äußern sich, wie die Theorie zeigt, hauptsächlich nur in Unterschieden dieser inneren Bahnschlingen, während die äußeren Schlingen, deren Größe auch für die Bindungsstärke maßgebend ist, einander fast gleich sind in den zwei Atomen.

Die Verhältnisse in der vierten Periode des natürlichen Systems wiederholen sich bekanntlich in der fünften Periode. Sowie in den Elementen mit den Atomnummern 21—29 eine Weiterentwicklung der dreiquantigen Gruppe stattfand, verursacht durch das Hinzukommen einer Untergruppe des 3_3-Typus, so findet in den Elementen 39—47 eine Weiterentwicklung der vierquantigen Gruppe statt, verursacht dadurch, daß im Yttrium (39) zum ersten Male eine 4_3-Bahn es bei der Bindung des 37. Elektrons von einer 5_1-Bahn in Bindungsstärke gewann.

Selbst wenn man keine Elemente mit Atomnummern höher als 54 kannte, so würde man doch imstande sein vorauszusehen, daß in der 6. Periode des natürlichen Systems wiederum neuartige Verhältnisse auftreten müssen. Nicht nur wird man eine Weiterentwicklung der fünfquantigen Gruppe erwarten, die sich mit einer Untergruppe von 5_3-Bahnen komplettieren wird, sondern die Theorie läßt voraussehen, daß irgendwo in der Nähe der Atomnummern 55—60 die vierquantige Gruppe anfangen wird, sich durch Hinzunahme von Elektronen in 4_4-Bahnen zu komplettieren. Aus der Tabelle entnimmt man, daß dies beim Cerium (58) zum ersten Male auftritt, und die Theorie gibt so eine natürliche und ungezwungene Deutung des *Vorkommens der seltenen Erden*, das bisher immer so rätselhaft erschien[1]).

Ich werde mich mit diesen kurzen Andeutungen der hierher gehörigen interessanten Überlegungen begnügen und mit einer Bemerkung schließen, die wegen des in vielen Hinsichten so formellen und gewissermaßen unbefriedigenden Charakters der Quantentheorie vielleicht einiges Interesse beanspruchen möchte. Die Gesetzmäßigkeiten des natürlichen Systems der Elemente sind den chemischen Erfahrungen entnommen, während die Gesetze, die das Wasserstoffspektrum beherrschen, dem spektroskopischen Erfahrungsgebiet angehören und anscheinend von einer ganz verschiedenen Natur sind. Trotzdem liefert die oben geschilderte Deutung des natürlichen Systems mit überzeugender Stärke den Nachweis, daß die zwei Gruppen von Gesetzen in enger Verbindung miteinander stehen; beide weisen zurück auf tiefliegende und einfache Grundgesetze, welche die Wechselwirkung zwischen elektrischen Elementarteilchen beherrschen.

[1]) Zur Illustration des geschilderten Bildes des Atombaues vergleiche man die zweifarbigen schematischen Figuren vom Atombau einiger Elemente, die in den Naturwissenschaften vom 6. Juli 1923 (Bohrheft) veröffentlicht sind. Betreffs dieser Figuren sei noch bemerkt, daß die Zeichnung des neutralen Kohlenstoffatoms mit den neuesten Anschauungen nicht in Übereinstimmung ist, nach denen dieses Atom wahrscheinlich zwei 1_1-Bahnen, zwei 2_1-Bahnen und zwei 2_2-Bahnen enthält.

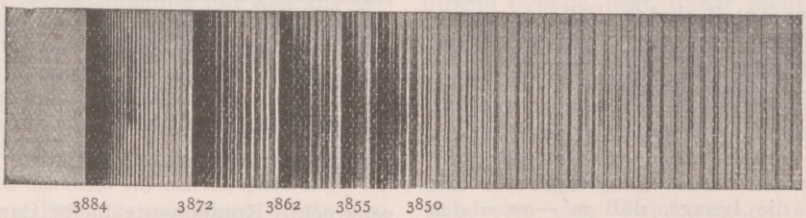
Molekulareigenschaften und Bandenspektren[1]).

Von A. KRATZER, Münster i. W.

Wie Sie eben gehört haben, ist die Theorie in der Lage, über die Atome und ihre Eigenschaften weitgehend Aufschluß zu geben. Nach diesen Erfolgen fühlt man sich unwillkürlich versucht, theoretische Chemie im eigentlichsten Sinne zu treiben, nämlich die chemischen Verbindungen nun ohne alle empirischen Daten rein rechnerisch aus den Atomen aufzubauen. So verlockend diese Aufgabe ist, so schwierig ist sie auch in ihrer Durch-

[1]) Die Formeln des Textes wurden, um ein allgemeines Verständnis zu erleichtern, beim Vortrage selbst nicht benutzt. Sie sind hier beigefügt, um dem Fachmann einen Überblick über die quantitativen Zusammenhänge zu geben. Der wesentliche Inhalt bleibt auch in dieser Fassung ohne das Studium der Formeln verständlich.

führung. Abgesehen davon, daß das *mechanische* Problem an sich schon in den allereinfachsten Fällen kaum überwindliche Schwierigkeiten bietet, hängt die Lösung ganz wesentlich mit der grundlegenden Frage zusammen, ob und wie die Mechanik durch die Quantentheorie abgeändert werden muß. Zwar sind in der letzten Zeit eine Reihe von Ansätzen gemacht, die, hauptsächlich von energetischen Gesichtspunkten ausgehend, zum Ziele haben, von den bekannten Eigenschaften der Ionen oder Atome auf ihre Verbindungen und deren Zustandekommen Schlüsse zu ziehen. Diese Überlegungen können aber notwendigerweise auch da, wo sie zu quantitativen Ergebnissen führen, nicht den Molekülbau in seinen Einzelheiten enthüllen. So bleibt denn für die Untersuchung der Moleküle nichts anderes übrig, als ganz analog wie bei den Atomen auf diejenigen Vorgänge zurückzugehen, wo das einzelne Molekül ohne statistische Vermengung mit anderen sich äußert, zu den Frequenzen der spektralen Emission und Absorption:



Die Figur zeigt eine Gruppe aus den violetten Cyanbanden. Man sieht den Anfang der einzelnen Teilbanden (durch die beigedruckten Wellenlängen bezeichnet) und kann leicht noch die Auflösung der Teilbanden in regelmäßig angeordnete Einzellinien feststellen.

Wir versuchen das Molekülmodell aus seinem Spektrum herauszulesen. Da sich als Molekülspektrum das Bandenspektrum erwiesen hat, so muß das Studium der Bandenspektren uns den gewünschten Aufschluß geben.

Seitdem durch BOHR die von RITZ in die Systematik der Serienspektren eingeführten Spektralterme die Bedeutung von Energiestufen der atomaren Systeme bekommen haben, ist es eine Selbstverständlichkeit, daß die eigentliche Gesetzmäßigkeit des Strahlers nicht in der zwei Terme, den Anfangs- und Endterm, verbindenden Formel für die Frequenzen eines Spektrums, sondern in den einzelnen Termen selbst und in den zwischen den beiden Termen geltenden Auswahlgesetzen ihren Ausdruck finden muß. Das Ziel jeder Untersuchung an Bandenspektren muß deshalb zunächst die Termdarstellung sein. Die Isolierung der Terme gelingt, sobald ausreichende empirische Daten vorliegen, immer durch geeignete Anwendung des Ritzschen Kombinationsprinzips und liefert als allgemeinsten Term für Bandenspektren den Ausdruck

$$\frac{W}{h} = E + n\nu(1 - nx) + 2\delta(\sqrt{m^2 - \sigma^2} - \varrho)$$
$$+ B(n)(\sqrt{m^2 - \sigma^2} - \varrho)^2 + \cdots - \beta(\sqrt{m^2 - \sigma^2} - \varrho)^4,$$

wo $B(n) = B^0(1 - \alpha n)$ ist.

In dieser Formel sind n und m ganze Zahlen, Quantenzahlen, die übrigen Größen Konstante, die von Fall zu Fall sich ändern und dem speziellen Molekülzustand zugehören. Von den Gliedern, die die Abhängigkeit von m zum Ausdruck bringen, ist das wichtigste und ausschlaggebende das quadratische. Das Linearglied kann formal durch Änderung der Konstanten ϱ immer in das quadratische Glied hineingenommen werden, doch läßt sich dann das Glied vierter Ordnung nicht mit dem gleichen Werte von ϱ darstellen. Aus diesem Grunde soll der Term in der angeschriebenen Form den späteren Überlegungen zugrunde gelegt werden. Bemerkenswert ist, daß in den meisten Spektren zwei Dubletterme W_1 und W_2 auftreten, derart, daß δ und ϱ gleichzeitig ihr Vorzeichen wechseln können.

Für die Kombination der Terme gelten die Auswahlregeln: n kann sich um beliebige Beträge ändern, m kann sich nur um $\pm$ 1,0 ändern. Über die Kombinationsregeln der verschiedenen Dublettterme untereinander lassen sich aus den wenigen untersuchten Banden noch keine allgemeinen Aussagen machen. Aus den Auswahlregeln läßt sich schon schließen, daß die Laufzahl n eine radiale Schwingungsquantenzahl, die Laufzahl m eine azimutale Rotationsquantenzahl ist. Diese Vermutung wird sich später bestätigen, wir wollen jetzt schon von diesem Ergebnis Gebrauch machen, um für die einzelnen Bestandteile des Termes eine bequeme Bezeichnung zu haben. Über die Größenordnung der Konstanten ist zu sagen, daß E von der gleichen Ordnung wie die Terme der Linienspektren ist, ν ist von der Größenordnung 10^3 cm^{-1} und B ist von der Ordnung 1 cm^{-1}, δ, β und α sind kleine Korrekturgrößen.

Man überzeugt sich leicht, daß die Termformel zusammen mit den Auswahlregeln die Bandenspektren darzustellen gestattet. Ein typisches Bandenspektrum besteht bekanntlich aus mehreren Gruppen von leuchtenden Bändern, die sich selber wieder als zusammengesetzt aus einzelnen Teilbändern erweisen. Die Teilbänder sind ihrerseits eine Anhäufung von gesetzmäßig angeordneten Einzellinien, die sich in Linienserien oder Zweige zusammenfassen lassen. Um nun die Gesetze des Spektrums aus den Termen abzuleiten, müssen wir einen Anfangsterm und einen Endterm in

Betracht ziehen. Die Molekülzustände, zu denen diese beiden Terme gehören, sind im allgemeinen voneinander verschieden, die Konstanten der Termformel haben dementsprechend verschiedene Werte, was wir dadurch zum Ausdruck bringen, daß wir die zum Anfangsterm gehörenden Größen durch einen Strich von denen des Endterms unterscheiden Die Bohrsche Frequenzbedingung liefert dann zunächst mit

$$E' - E = \nu_e$$

den Spektralbereich, in dem das Bandensystem liegt. Der Schwingungsanteil läßt sich mit Vernachlässigung des Korrekturgliedes schreiben:

$$\nu_{\mathrm{osc}} = n'\nu' - n\nu = (n' - n)\nu' + n(\nu' - \nu) .$$

Die Konstanten im Anfangs- und Endterm sind erfahrungsmäßig nur wenig voneinander verschieden. Aus diesem Grunde ist $\nu' - \nu$ klein gegen ν'. Deshalb ist in der Formel der erste Teil ausschlaggebend, die Änderung der Oszillationsquantenzahl, $n' - n$, liefert die Bandengruppe, der Absolutwert n liefert die Teilbande in der Gruppe. Für den Rotationsanteil sind 2 Fälle zu unterscheiden, je nachdem ob σ von o verschieden ist oder nicht. Jedenfalls kann die Wurzel für $m > \sigma$ entwickelt werden, dann kommt

$$B(\sqrt{m^2 - \sigma^2} - \varrho)^2 = -\sigma^2 B + B(m - \varrho)^2 + B\frac{\varrho\sigma^2}{m} + \cdots$$

Berücksichtigt man die Auswahlregel für die Quantenzahl m, die besagt, daß $m' - m = \Delta m = +1, -1,0$ ist, so folgt für den Rotationsanteil der Frequenz für $\sigma = 0$ oder große Werte von m

$$\nu_{\mathrm{rot}} = \Delta'^2 B' + 2\Delta'(m - \varrho)B' + (m - \varrho)^2(B' - B) .$$

Hier ist $\Delta' = \Delta m + \varrho - \varrho'$ gesetzt. Je nach dem Wert von Δm kommen verschiedene Zweige der Teilbande, die man als positiven, negativen und Nullzweig bezeichnet. Den verschiedenen Zweigen ist gemeinsam, daß sie in erster Annäherung durch einen in m quadratischen Ausdruck wiedergegeben werden, dessen wichtigstes, weil von der Numerierung unabhängiges, quadratisches Glied für alle Zweige denselben Wert hat. Dieser Sachverhalt kommt in den Deslandresschen Gesetzen darin zum Ausdruck, daß die Teilbanden aus Zweigen bestehen, deren Linienabstände eine arithmetische Reihe erster Ordnung bilden, die in allen Zweigen gleiche konstante Differenz hat. Wenn σ von o verschieden ist, so macht sich für kleine Werte von m das Glied mit $1/m$ bemerkbar und die Linienfolge zeigt eine charakteristische Abweichung von der Deslandresschen Serie, auf die zuerst HEURLINGER an Hand des empirischen Materials hingewiesen hat.

Um nun von dem Spektralterm auf die Moleküleigenschaften zu schließen, müssen wir diesen im Sinne der Bohrschen Theorie als Energie von stationären Zuständen der Molekel deuten. Wir müssen also nach den möglichen Bewegungen eines Moleküls fragen. Diese zerfallen in 3 Gruppen: die Elektronenbewegungen, die relative Bewegung der Atome im Molekül, also Schwingungen um die Gleichgewichtslage und endlich die Bewegungen der Molekel als Ganzes im Raum um ihren Schwerpunkt, Rotationen bzw. Präzessionsbewegungen. Es gelingt nun leicht, diese 3 Bewegungsarten den einzelnen Gliedern des Spektraltermes zuzuordnen. Wir beginnen mit dem von n abhängigen Gliede der Termformel. Wird zunächst die kleine Größe x vernachlässigt, so kommt der bekannte Plancksche Ausdruck $nh\nu$ für die Energie eines harmonischen Oszillators. Der Faktor $1 - nx$ bei ν sagt aus, daß die in die Plancksche Formel einzusetzende Frequenz mit der Amplitude abnimmt, daß eine anharmonische Schwingung vorliegt. Die Konstante x ist ein Maß für die Abweichung von der harmonischen Bindung. Die Größenordnung von ν ist derart, daß wir berechtigt sind, die Bewegung als Schwingung der Atome um ihre Ruhelage zu deuten.

Das ausschlaggebende Glied für die Abhängigkeit von m ist das quadratische, seine Deutung findet es in der Rotationsbewegung der Molekel. Nach der Quantentheorie ist der Gesamtimpuls eines Systems gleich $mh/2\pi$ zu setzen. Im Falle eines 2-atomigen Moleküls ist es am zweckmäßigsten, diesen Impuls zu zerlegen in einen Anteil parallel und senkrecht zur Atomverbindungslinie. Der parallele Anteil kann nur auf die Elektronen zurückgehen, er habe den Betrag $\frac{\sigma h}{2\pi}$. Für die senkrechte Komponente bleibt dann $\frac{h}{2\pi}\sqrt{m^2 - \sigma^2}$ übrig. Hiervon möge im Zeitmittel auf die Elektronen der Betrag $\varrho\frac{h}{2\pi}$ treffen, dann bleibt noch für die Rotation der Molekel $\frac{h}{2\pi}(\sqrt{m^2 - \sigma^2} - \varrho)$. Diese Größe muß gleich $J\omega$ sein, wenn mit J das Trägheitsmoment und mit ω die Winkelgeschwindigkeit bezeichnet wird. Der Rotationsanteil der Energie wird nach mechanischen Gesetzen

$$\frac{J}{2}\omega^2 = \frac{J^2\omega^2}{2J} = \frac{h^2}{8\pi^2 J}(\sqrt{m^2 - \sigma^2} - \varrho)^2 .$$

Der Vergleich mit der Spektralformel des Termes zeigt, daß dort $B = \frac{h}{8\pi^2 J}$ zu setzen ist. Nach der Termformel ist B noch mit der Schwingungsquantenzahl n veränderlich. Dies findet seine Erklärung darin, daß einmal das Trägheitsmoment während der Schwingung sich zeitlich ändert und daß ferner die Schwingungsfrequenz von der Umlaufsgeschwindigkeit abhängt, da durch die Zentrifugalkraft die Gleichgewichtslage für die Schwingung abgeändert wird. Auch das Glied vierter Ordnung erklärt sich aus der Zentrifugalkraft, es bringt die Änderung des Trägheitsmomentes als Folge der Zentrifugalkraft zum Ausdruck. Die nun noch übrig bleibenden Ausdrücke stellen die Elektronenenergie und deren Abänderung durch die Rotationsbewegung dar. Über den Elektronenterm läßt das bisher bearbeitete Material nur in *einem* Falle eine Aussage zu. FOWLER hat gefunden,

daß er sich bei Helium durch einen Ausdruck vom Typus der Rydberg-Ritzschen Terme der Linienspektren darstellt, in den auch dieselbe universelle Konstante, die Rydbergzahl, eingeht. Von diesem einen besonders günstigen Fall abgesehen, liefert also ein Bandensystem uns die Moleküldaten: J, ν, x, α, σ, ϱ, dazu die Auswahlregeln.

Aus dem Trägheitsmoment J läßt sich nun ohne weiteres der Atomabstand in der Molekel berechnen, wenn der Träger des Spektrums bekannt ist. Da dieser meistens auf chemischem Wege nicht feststellbar ist, kann man versuchen, ihn aus dem Spektrum selbst festzulegen. Eine Möglichkeit liegt vor, wenn die Komponenten des Moleküls Isotope haben. Je nach der Atomart werden dann mehrere Werte von J und auch von ν auftreten, aus deren Differenzen auf die Atome geschlossen werden kann. Ist der Träger zweifelsfrei festgelegt, so läßt sich der Atomabstand mit einer Genauigkeit bestimmen, die im wesentlichen durch die Genauigkeit, mit der die Plancksche Konstante h bekannt ist, begrenzt ist. Die so gefundenen Zahlenwerte sind in bester Übereinstimmung mit den aus der Atomtheorie und den Kristallgittern gefundenen Daten für die Größen der Ionen und Atome. Ist das Molekül mehratomig, so liefern die Hauptträgheitsmomente die Atomanordnung.

Die Schwingungsfrequenz ν für kleine Schwingungen läßt die Festigkeit der Bindung berechnen, und x und α sind ein Maß für die Abweichung von der harmonischen Bindung; zusammen liefern also diese 3 Größen das Kraftgesetz in der weiteren Nachbarschaft der Gleichgewichtslage. Mit der Kraft, die die Atome aneinander bindet, ist die Arbeit, die zu ihrer Trennung notwendig ist, enge verknüpft. Im allgemeinen reichen jedoch diese Daten nicht aus, um die Dissoziationsarbeit zu bestimmen, da es nicht möglich ist, aus dem Kraftgesetz in der Nähe der Gleichgewichtslage auf beliebige Abstände der Atome zu extrapolieren. Nur in dem Falle, daß so hohe Werte der Schwingungsquantenzahl auftreten, daß die Grenze der Schwingungen beinahe erreicht wird, was für eine Jodbande zutrifft, läßt sich die Dissoziationsarbeit aus dem Spektrum entnehmen.

Atomabstand und Stärke der Bindung sind modellmäßig bedingt durch die Elektronenbewegung. Sie kommen zustande durch das Zusammenwirken aller Elektronen und Kerne in den verschiedenen Lagen, die sie im Laufe der Zeit einnehmen. Aus diesem Grunde sind diese Größen durch eine Mittelwertsbildung zu gewinnen und lassen nun umgekehrt keine unmittelbaren Schlüsse auf die Bewegung der einzelnen Elektronen zu; sie sind aber wohl zu einer Prüfung eines bestimmten Molekülmodelles verwendbar. Anders liegen die Verhältnisse bei den Größen σ und ϱ. Diese beziehen sich auf die Elektronenbewegung selbst, greifen also wesentlich tiefer in den Mechanismus der Molekel ein. Hier bietet sich einmal der Weg, die Rolle der Bindungselektronen bei der Molekülbildung im einzelnen zu verfolgen; vorläufig allerdings treten hier die gleichen Schwierigkeiten auf, die auch einem wirklichen mechanischen Verständnis der Elektronenbewegung in den Atomen hinderlich sind. Als Erfahrungsergebnis sei lediglich erwähnt, daß das Impulsmoment der Elektronen senkrecht zur Atomverbindungslinie mit großer Wahrscheinlichkeit rationale Werte hat, wenn es in Einheiten $h/2\pi$ gemessen wird. Der Grund hierfür liegt möglicherweise in ähnlichen mechanischen Zusammenhängen, wie bei dem *Runge*schen Nenner des anomalen *Zeeman*effektes.

Nachdem wir jetzt uns klargemacht haben, welche Eigenschaften der Moleküle aus den Bandenspektren ablesbar sind, ist die nächste Frage die, ob diese Eigenschaften einen Zusammenhang mit dem *periodischen System* der Elemente erkennen lassen. Hierbei ist zu beachten, daß ein ganzes Bandensystem, also eine gesetzmäßige Anordnung von unter Umständen 1000 und mehr Linien nur einer einzigen Linie aus einem Linienspektrum äquivalent ist, d. h. lediglich über 2 verschiedene Elektronenkonfigurationen Auskunft liefert. Aus diesem Grunde liegt bisher nicht allzuviel empirisches Material vor. Dieses läßt bis jetzt den Schluß zu, daß Substanzen die gleichen Vertikalreihen des periodischen Systems angehören oder Verbindungen, in denen eine Komponente in einer Vertikalreihe variiert wird, Spektren haben, in denen die Elektronenkonstanten, Impulsmoment und Auswahlregeln, übereinstimmen oder zum mindesten eine Gleichartigkeit erkennen lassen. Dies gilt z. B. für die ultraroten Banden von HF, HCl, HBr oder für Cu, Au sowie für Zn, Cd, Hg. Wo die Schwingungsfrequenz und das Trägheitsmoment bekannt sind, zeigt sich innerhalb der Vertikalreihen ein gesetzmäßiger Gang mit der Ordnungszahl: Trägheitsmoment und Atomabstand wachsen mit der Ordnungszahl. Die quasielastische Kraft, die die Atome in ihren Gleichgewichtsabstand zwingt, nimmt mit wachsender Ordnungszahl ab, und zwar bei den Halogenwasserstoffen ungefähr mit dem Quadrat des Atomabstandes. Bemerkenswert ist, daß, wie zuerst Herr A. EUCKEN festgestellt hat, nach Ausweis der Trägheitsmomente eine Reihe von Banden auf Verbindungen, besonders Hydride, zurückgeführt werden müssen, die unter gewöhnlichen Verhältnissen anscheinend nicht beständig und deswegen dem Chemiker nicht bekannt sind.

Nun bleibt noch die Frage zu erörtern, wie weit die aus den Bandenspektren entnehmbaren Moleküleigenschaften sich anderweitig äußern. Hier kommt zunächst die *spezifische Wärme* der Gase in Betracht, die ja auf die Freiheitsgrade der Translation, Rotation und Atomschwingung zurückgeht. Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß der Term der Bandenspektren, soweit er von Rotation und Schwingung herrührt, unmittelbar das für die Berechnung der spezifischen Wärme wichtigste Datum, die Energieänderung des Moleküls, ergibt. Für die quantitative Berechnung der spezifischen Wärme ergibt sich dabei ein mehr-

facher Vorteil. Einmal können die Konstanten der Formel für die spezifische Wärme aus den spektroskopischen Daten entnommen werden, das Ergebnis enthält also überhaupt keine willkürliche Größe mehr. Außerdem hat die aus den Banden gewonnene Kenntnis des Zusammenhanges zwischen Rotation und Schwingung auch zu einer Verbesserung der Berechnung der spezifischen Wärme geführt. Besonders wichtig ist hierbei, daß das Trägheitsmoment der Molekeln nach unserm heutigen Wissen sowohl mit der Rotationsgeschwindigkeit wie auch mit der Schwingungsamplitude merklich zunimmt. Für die spezifische Wärme bedeutet das, daß das effektive Trägheitsmoment der Molekel mit der Temperatur wächst. Dieser Sachverhalt kommt darin deutlich zum Ausdruck, daß es bisher unter Annahme starrer Moleküle, also festen Trägheitsmomentes, nicht gelang, die spezifische Wärme des Wasserstoffs bei tiefen, mittleren und hohen Temperaturen durch eine theoretische Kurve darzustellen. Eine vor kurzem von KEMBLE und VAN VLECK[1]) durchgeführte Rechnung, die von der Theorie der Bandenspektren ausgeht, kommt dagegen zu wesentlich günstigeren Ergebnissen. Auch die Frage nach der Nullpunktsenergie der Rotation wird insoweit entschieden, als die Bandenspektren darauf hindeuten, daß für rotationslose Moleküle die statistische Wahrscheinlichkeit verschwindet. Allerdings kann zur Zeit noch nicht bestimmt entschieden werden, ob dies seinen Grund lediglich darin hat, daß beim Vorhandensein eines nicht ganzzahligen Elektronenimpulsmomentes die Quantelung des Gesamtimpulses den rotationslosen Zustand ausschließt oder ob auch der Gesamtimpuls Null selbst verschwindende Wahrscheinlichkeit hat.

Von besonderer Wichtigkeit ist der Zusammenhang des Elektronenimpulsmomentes mit dem *Magnetismus*. Die Banden liefern nahezu ausnahmslos, soweit sie bisher untersucht sind, von Null verschiedene Impulsmomente der Elektronenbewegung, die nach den Forderungen der Elektrodynamik und Statistik sich in einem paramagnetischen Verhalten der Gase äußern sollten. Im Gegensatze hierzu sind nahezu alle Gase diamagnetisch, lediglich Sauerstoff und Stickoxyd haben sich als paramagnetisch erwiesen. Nun handelt es sich allerdings bei den Bandenspektren meistens um Gase im angeregten Zustand, so daß sich die aus den Spektren gewonnenen Daten auf andere Moleküle beziehen, wie die magnetischen Messungen. Aber auch bei Beschränkung auf unangeregte Moleküle bleibt die Schwierigkeit bestehen. In den Termen der Halogenwasserstoffe hat mit großer Wahrscheinlichkeit das Elektronenimpulsmoment ϱ senkrecht zur Atomverbindungslinie den Wert $^1/_2$, während die Substanzen diamagnetisch sind. Man kann allerdings der Schwierigkeit entgehen, wenn man die Termformel anders deutet und die Halbzahligkeit auf das Gesamtimpulsmoment m schiebt. In diesem Falle tritt aber die neue Schwierigkeit auf, den halbzahligen und in anderen Fällen nach Vierteln fortschreitenden Gesamtimpuls in die Quantentheorie einzugliedern. Ich möchte lieber an der oben auseinandergesetzten Deutung der Termformel festhalten und die Erklärung in den noch unbekannten Gesetzen des Magnetismus vermuten. Vielleicht weist darauf auch der Umstand hin, daß im Gegensatz zu den Halogenwasserstoffen das unangeregte Sauerstoffmolekül, wie die atmosphärischen Absorptionsbanden zeigen, ein Elektronenimpulsmoment *um* die Atomverbindungslinie hat, mit dem ich seinen Paramagnetismus in Verbindung bringen möchte.

Hier an diesem Punkte treffen sich die ungelösten Probleme der Bandenspektren und des Molekülbaues mit denen des Atombaues. Rührt das Elektronenimpulsmoment im Halogenwasserstoff schon von dem edelgasähnlichen Halogenion her oder kommt es erst durch die Molekülbildung zustande? Welches ist der Mechanismus, der vom Gesamtimpulsmoment einen festen Betrag den Elektronen zuteilt, der unabhängig von der Größe des Gesamtimpulses ist? Das Problem ist hier ein ähnliches wie bei den Serienspektren, wo ebenfalls der Impuls des Atomrumpfes von der Bewegung des Serienelektrons unbeeinflußt bleibt. Wie ist der Magnetismus mit dem Impulsmoment verknüpft? Alle diese Fragen weisen auf das eine große Problem hin: Wo ist die Grenze zwischen Quantentheorie und Mechanik, wo zwischen Quantentheorie und Elektrodynamik zu ziehen? Die Untersuchung der Spektren kann und wird diese Frage lösen.

[1]) Phys. Rev. 21, 653. 1923.

Die Quantenregeln in der Photochemie.

Von E. WARBURG, Berlin.

I. Einleitung.

Das Fundamentalproblem der Photochemie.

1. Chemische Wirkungen des Lichts sind bereits seit uralten Zeiten beobachtet, aber erst im 18. Jahrhundert als solche erkannt worden. Von da an also datiert der Ursprung der Photochemie, welche die chemische Lichtwirkung anfänglich nur für sich, später aber auch mit Bezug auf die sie verursachende Strahlung in Betracht zog. Grundlegend ist hier vor allem die Beziehung der chemischen Wirkung zur Absorption der Strahlung. Nachdem GROTTHUS[1]) schon im Jahre 1820 auf eine solche Beziehung aufmerksam gemacht

[1]) TH. v. GROTTHUS, Physikalisch-chemische Forschungen. Bd. 1. Nürnberg. Ostwalds Klassiker, Nr. 152. 1820.

hatte, sprach DRAPER[1]) 1845 auf Grund von Experimenten den wichtigen und einleuchtenden Satz aus, daß nur absorbierte Strahlung chemisch wirken könne, und später fanden BUNSEN und ROSCOE[2]) die photochemische Wirkung bei der Bildung von Chlorwasserstoffsäure aus Chlorknallgas der absorbierten Strahlung proportional.

Auf Grund dieser Befunde erhebt sich die Frage, ob der Betrag der chemischen Wirkung aus dem Betrag der absorbierten Strahlung berechenbar ist. Diesem Fundamentalproblem stand die ältere Photochemie ratlos gegenüber, und erst EINSTEIN hat auf Grund der Quantenhypothese den Weg zu seiner Lösung gezeigt.

Folgerungen aus der Quantenhypothese, die beanspruchten Molekeln.

2. Für diese und andere Anwendungen mußte die Quantenhypothese des Herrn PLANCK dahin erweitert werden, daß Strahlung von der Frequenz ν nicht nur durch ein Gebilde von der Eigenfrequenz ν, sondern unabhängig von der Eigenfrequenz der absorbierenden Molekel stets im Betrag eines ganzen Vielfachen von $h \cdot \nu$ absorbiert wird[3]). Für die photochemischen Vorgänge führt diese Hypothese zu Konsequenzen von großer Tragweite. Während man nämlich nach der klassischen Theorie annehmen konnte, daß an der Absorption alle getroffenen Molekeln gleichmäßig beteiligt seien, wird nach der Quantenhypothese nur eine bestimmte Zahl von Molekeln bei der Absorption beansprucht, nämlich so viel, als Quanten $h\nu$ in der absorbierten Strahlung enthalten sind, wobei angenommen ist, daß jedesmal nur *ein* Quantum absorbiert wird. Die Beanspruchung der einzelnen Molekel ist daher unabhängig von der Quantität der absorbierten Strahlung und nur von deren Frequenz abhängig, indem jede beanspruchte Molekel den Betrag $h\nu$ aufnimmt. Dabei ist z. B. für $\lambda = 0{,}2\ \mu$ die mittlere kinetische Translationsenergie einer Gasmolekel bei 20° C nur der 163. Teil des Quantums dieser Wellenlänge und wird erst bei 47 400° diesem Quantum gleich. Eine Molekel, die dieses Quantum aufnimmt, gerät also in einen Zustand, zu dessen thermischer Erzeugung eine ungeheure Temperatursteigerung erforderlich wäre. So wird es verständlich, daß solche Strahlung eine außerordentliche Befähigung besitzt, chemische Verbindungen zu lösen, daß solche Befähigung besonders den kurzen Wellen wegen ihrer hohen Frequenz innewohnt, daß endlich beliebig schwache Strahlung dieser Art chemische Wirkungen hervorbringt, wie sie sonst nur durch Anwendung sehr hoher Temperaturen gelingen; denn die Beanspruchung der einzelnen Molekel ist unabhängig von der Intensität der Strahlung und nur von deren Frequenz abhängig.

Elektrolyse und Photolyse. Lösung des Fundamentalproblems für den Grenzfall der Gültigkeit des Äquivalentgesetzes.

3. Es fragt sich nun, ob es möglich ist, aus der durch die Quantenhypothese bestimmten Zahl der beanspruchten Molekeln die Endprodukte der Photolyse quantitativ zu berechnen. Es empfiehlt sich für diese Frage, den analogen Fall der Elektrolyse zum Vergleich heranzuziehen. Bei der Elektrolyse sind primäre und sekundäre Wirkungen zu unterscheiden. Unter der Primärwirkung versteht man hier die Abgabe der elektrischen Ladungen der Ionen an die Elektroden und die daraus folgende Bildung unelektrischer Produkte. Über die *Art* der Ionen, in welche die elektrolytische Molekel zerfällt, also über die *Art* des Primärvorganges ist eine Annahme zu machen, die *Zahl* der Primärprozesse wird aber dann durch das Faradaysche Gesetz bestimmt, und zwar für einwertige Ionen als die Zahl der elektrischen Elementarquanten, welche in der durch den Elektrolyten geschickten elektrischen Ladung enthalten sind. Im allgemeinen verfallen nun die von ihren Ladungen befreiten Ionen weiteren, von dem eletrischen Strom unabhängigen sog. sekundären Reaktionen, über welche ebenfalls eine Annahme zu machen ist. Auf Grund der erwähnten Annahmen können die Endprodukte der Elektrolyse berechnet werden.

Bei der Photolyse wollen wir primäre Reaktionen diejenigen nennen, bei welchen eine Verwandlung der von der beanspruchten Molekel aufgenommenen Energie eintritt[1]), über die Art dieser Reaktionen ist eine Hypothese zu machen, eine weitere über die sekundären, von der Strahlung unabhängigen Reaktionen, welchen die primären Produkte verfallen. Diese Annahmen genügen aber bei der Photolyse noch nicht, um die Menge der Endprodukte zu berechnen, weil die Zahl der Primärprozesse im allgemeinen *nicht* gleich der Zahl der beanspruchten Molekeln ist und man das Verhältnis dieser Zahlen im allgemeinen nicht kennt. Nur in dem Grenzfall, in welchem beide Zahlen einander gleich sind, ist jene Berechnung und damit die Lösung des Fundamentalproblems der Photolyse möglich, wenn man über die Sekundärprozesse geeignete Annahmen machen kann. Dieser Grenzfall ist der des von EINSTEIN[2]) aufgestellten photochemischen Äquivalentgesetzes, welches wir also dahin aussprechen, daß die Zahl der Primärprozesse der Zahl der beanspruchten Molekeln gleichkommt. Das Gesetz entspricht dem Faradayschen Grundgesetz der Elektrolyse, unterscheidet sich aber von demselben dadurch, daß es nicht, wie dieses Gesetz, allgemein gilt, sondern nur einen Grenzfall darstellt.

[1]) J. W. DRAPER, Fortschritte der Physik Jg. 1845, S. 277.

[2]) R. BUNSEN und H. E. ROSCOE, Pogg. Ann. 100, 43. 1856.

[3]) A. EINSTEIN, Ann. d. Phys. (4) 17, 132. 1905.

[1]) Einige Autoren definieren die Primärwirkung als die Energieaufnahme durch die beanspruchten Molekeln.

[2]) A. EINSTEIN, Ann. d. Phys. (4) 17, 132. 1905: 37, 832. 1912.

Möglichkeit verschiedener Hypothesen zur Berechnung der beobachtbaren Endprodukte.

4. Es sind nun experimentell manche Fälle aufgefunden worden, in welchen das Einsteinsche Gesetz sich bewährt hat, sofern es möglich war, aus dem Betrag der absorbierten Strahlung unter Zuziehung geeigneter Hypothesen den Betrag der Endprodukte in Übereinstimmung mit der Erfahrung zu berechnen. Dabei ist aber zu bedenken, daß dadurch die gemachten Hypothesen nur als möglich, nicht als notwendig erwiesen sind, indem es im allgemeinen verschiedene Hypothesen gibt, welche zu dem gleichen Ziel führen.

II. Das absorbierte Quantum ist größer als die Dissoziationsarbeit der beanspruchten Molekel.

Fälle der Gültigkeit des Äquivalentgesetzes.

5. Das Äquivalentgesetz hat sich bewährt in Fällen, in welchen das absorbierte Quantum gleich oder größer ist als die zur Zersetzung der beanspruchten Molekel erforderliche Energie. Die einfachste Annahme, welche man in diesem Fall für den Primärprozeß machen kann, besteht darin, daß die beanspruchte Molekel sofort zerfällt. Ich will nun eine Reihe von Fällen anführen, in welchen unter dieser Annahme und geeigneten Annahmen über die Sekundärprozesse die Endprodukte sich in Übereinstimmung mit der Erfahrung berechnen ließen.

1. Ozonbildung aus Sauerstoff von etwa 50 kg/ccm Druck durch Strahlung von der Wellenlänge 0,207 μ[1]).

Primäre Reaktion: $O_2 = 2\,O$.

Sekundäre Reaktion: $2\,O + 2\,O_2 = 2\,O_3$.

Die Beanspruchung einer O_2-Molekel liefert 2 Molekeln Ozon.

2. Zersetzung von gasförmigem Bromwasserstoff durch $\lambda = 0{,}207$ und $\lambda = 0{,}253\,\mu$[2]).

Primäre Reaktion: $BrH = Br + H$.

Sekundäre Reaktionen: $\begin{cases} H + BrH = Br + H_2, \\ Br + Br = Br_2. \end{cases}$

Die Beanspruchung einer Molekel BrH führt auf die Zerlegung von 2 Molekeln BrH.

3. Zersetzung von gasförmigem Jodwasserstoff durch $\lambda = 0{,}207;\ 0{,}253;\ 0{,}282\,\mu$[3]).

Das Ergebnis entspricht dem Fall 2.

Die Fälle 2 und 3, in welchen es möglich war, verschiedene Wellenlängen anzuwenden, enthalten insbesondere eine Bestätigung der merkwürdigen Folgerung aus dem Äquivalentgesetz, nach welcher 1 cal absorbierter Strahlung eine der Wellenlänge proportionale chemische Wirkung ausübt, da die Zahl der in 1 cal enthaltenen Quanten der Wellenlänge proportional ist. Längere Wellen üben also hier abweichend von dem gewöhnlich beobachteten bei gleicher absorbierter Energie eine größere chemische Wirkung aus als kürzere.

[1]) E. WARBURG, Ber. d Berl. Akad. 1912, S. 216: Zeitschr. f. Elektrochemie 1921, S. 133.

[2]) Ber. d. Berl. Akad. 1916, S. 314.

[3]) Ber. d. Berl. Akad. 1918, S. 300.

Zu diesen Fällen sind später weitere hinzugekommen, zunächst zwei aus dem Laboratorium des Herrn NERNST.

4. Zersetzung gasförmigen Broms in Gegenwart von gasförmigem Hexahydrobenzol (C_6H_{12}) durch $\lambda = 0{,}469$ [1]).

Primäre Reaktion: $Br_2 = 2\,Br$.

Sekundäre Reaktion:

$$2\,Br + C_6H_{12} = C_6H_{11}Br + BrH\,.$$

5. Zersetzung von Chlor, gelöst in tropfbar flüssigem Trichlorbrommethan (CCl_3Br) durch $\lambda = 0{,}410$ und $0{,}449$ [2]).

Primäre Reaktion: $Cl_2 = 2\,Cl$.

Sekundäre Reaktion:

$$2\,Cl + 2\,CCl_3Br = 2\,CCl_4 + Br_2\,.$$

Neuerdings ist hinzugekommen:

6. Zerlegung von Monochloressigsäure ($ClCH_2COOH$) in wässeriger Lösung durch $\lambda = 0{,}2536$ [3]).

Primäre Reaktion:

$$ClCH_2COOH = Cl + CH_2COOH\,.$$

Sekundäre Reaktion:

$$Cl + H_2O + CH_2COOH = ClH + HOCH_2COOH\,.$$

Für Monobromessigsäure hat sich das Äquivalentgesetz nicht bestätigt, indem hier nur etwa 33% der beanspruchten Molekeln zerfallen.

Bevorzugung der Fälle, in welchen die Strahlung die Energie für die Bildung der Endprodukte hergeben muß.

6. Zu den Versuchen 4—6 des § 5 bemerke ich folgendes. In den Fällen 4 und 6 entstehen die Endprodukte der Photolyse auch, obwohl langsam, im Dunkeln, so daß hierfür eine Korrektion anzubringen war. Im übrigen folgt hieraus, daß zur Bildung der Endprodukte das Licht in diesen Fällen keine Energie herzugeben braucht, was wahrscheinlich auch für den Fall 5 zutrifft, da die fragliche Reaktion, wenn auch nicht merklich bei gewöhnlicher Temperatur, so doch bei 100° im Dunkeln eintritt. Ohne nun diese Versuche beanstanden zu wollen möchte ich doch meine Meinung dahin aussprechen, daß mir für Fundamentalversuche Fälle besser geeignet scheinen, in welchen wie bei 1—3 das Licht die Energie für die chemische Wirkung hergeben muß. Erstens kann in den anderen Fällen die bei den sekundären Vorgängen frei werdende Energie ähnliche chemische Wirkungen hervorbringen wie die aufgenommene Lichtenergie, ferner kann, wie z. B. beim Chlorknallgas, sekundär eine so große chemische Wirkung entstehen, daß es nicht möglich ist, die primäre Lichtwirkung von dieser zu trennen; endlich haben, wie ebenfalls das Beispiel des Chlorknall-

[1]) Frl. L. PUSCH, Zeitschr. f. Elektrochemie **24**, 335. 1918; W. NODDACK, Zeitschr. f. Elektrochemie **27**, 359. 1921.

[2]) W. NODDACK, Zeitschr. f. Elektrochemie **27**, 359. 1921.

[3]) E. RUDBERG, Zeitschr. f. Physik **24**, 247. 1924.

gases zeigt, kleine Verunreinigungen hier einen großen Einfluß.

Wirkung des Lichtes auf das Bromsilber der photographischen Platte.

7. Nach den Herren EGGERT und NODDACK sowie nach Herrn WEIGERT soll sich das Äquivalentgesetz bei der Wirkung des Lichtes auf das Bromsilber in der photographischen Platte bestätigen. Doch werden die Versuche bisher teilweise beanstandet, auch wirkten nach Versuchen des Herrn P. P. KOCH[1]) und solchen des Herrn STRÖMBERG[2]) das Licht auf reines Bromsilber, das nicht mit Gelatine in Berührung ist, nicht ein.

Assimilation in der grünen Pflanze.

8. Als letzten vielleicht hierher gehörigen Fall führe ich die Assimilation in der grünen Pflanze, den bedeutungsvollsten Fall von Photolyse an, für welchen zuerst mein Sohn Prof. O. WARBURG[3]) die Beziehung der absorbierten Strahlung zum chemischen Prozeß untersucht hat. Nach seinen Ergebnissen spielt sich dieser Prozeß an den Grenzflächen der Zellen, der sog. Chromatophoren ab, in welchen die Endprodukte der Assimilation, Zucker und Sauerstoff, entstehen. Daraus erklärt sich, daß photochemische Zersetzung der Kohlensäure in kohlensäurehaltigen klaren Chlorophyllösungen nicht beobachtet wird. Angriffspunkt für das Licht ist unzweifelhaft das Chlorophyll, evtl. kommen auch die mit vorhandenen gelben Farbstoffe in Betracht. Die chemischen Veränderungen, welche zu den Endprodukten führen, sind noch dunkel, allein die Wirkung pro absorbierte Grammkalorie wächst mit der Wellenlänge, und zwar ungefähr in dem von der Quantentheorie geforderten Verhältnis, so daß möglicherweise das Äquivalentgesetz für die primäre Reaktion hier zutrifft. Eine Beziehung der chemischen Wirkung zum Absorptionskoeffizienten bei gleicher absorbierter Lichtenergie zeigt sich hier jedenfalls nicht, da die roten und blauen Strahlen viel stärker als die dazwischen liegenden vom Chlorophyll absorbiert werden.

Nichtzutreffen des Äquivalentgesetzes wegen Energieabgabe während des Absorptionsaktes.

9. Es gibt nun Fälle, in welchen das absorbierte Quantum zwar zur Spaltung der beanspruchten Molekel hinreicht, das Äquivalentgesetz aber doch nicht erfüllt ist. Während z. B. für die Ozonisierung durch $\lambda = 0{,}207\ \mu$ aus Sauerstoff von 50 kg/ccm Druck das Äquivalentgesetz sich bestätigt, werden bei 300 kg/ccm nur etwa 78% der beanspruchten Sauerstoffmolekeln zerlegt[4]). Nun geht aus der Verbreiterung der Spektrallinien mit wachsendem Druck hervor, daß schon während des Absorptionsaktes eine Einwirkung der Nachbarmolekeln auf die beanspruchten eintritt, was zuerst von H. A. LORENTZ[1]), später eingehender von FÜCHTBAUER[2]) dargelegt ist. Hiermit ist eine Energieabgabe an die Nachbarmolekeln verknüpft, welche für die verschiedenen beanspruchten Molekeln von verschiedener Größe sein wird, so daß für einen Teil derselben das von dem aufgenommenen Quantum noch übriggebliebene zur Spaltung nicht mehr ausreicht. So wird nicht jede beanspruchte Molekel zerfallen und das Äquivalentgesetz nicht erfüllt sein. Je größer aber das Quantum, d. h. je größer die Frequenz, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit dafür, daß trotz der erwähnten Energieabgabe die Bedingung für die Spaltung noch erfüllt bleibt. Hieraus ergibt sich bereits ein Einfluß der Wellenlänge auf die chemische Wirkung entgegengesetzt der vom Äquivalentgesetz geforderten. Der erörterte Vorgang wird bei tropfbaren Flüssigkeiten ihrer größeren Dichte halber in noch höherem Maße als bei stark komprimierten Gasen zu erwarten sein.

III. Das aufgenommene Quantum ist kleiner als die Dissoziationsarbeit der beanspruchten Molekel.

Weitergabe des aufgenommenen Quantums an andere Molekeln nach Stark, Ungültigkeit des Äquivalentgesetzes.

10. Wir kommen nun zu dem Fall, in welchem das aufgenommene Quantum kleiner ist als die zur Spaltung der beanspruchten Molekel erforderliche Energie. Dieser Fall tritt z. B. ein bei der Bestrahlung von Ammoniakgas mit $\lambda = 0{,}207\ \mu$[3]). Dabei zerfallen nur etwa 23% der beanspruchten Molekeln in Wasserstoff und Stickstoff, das Äquivalentgesetz gilt nicht, und es ist sogar zunächst nicht einzusehen, wie es hier überhaupt zu einer Spaltung kommen kann. Indessen hat zuerst Herr STARK[4]) auf die Möglichkeit aufmerksam gemacht, daß die beanspruchte Molekel das aufgenommene Quantum mit sich führt und an andere Molekeln weitergibt. Sofern die Beanspruchung einer Molekel in dem Übergang in einen anderen Bohrschen Zustand besteht, ist zwar Energieabgabe durch Strahlung in Betracht zu ziehen, doch erfolgt statt dessen nach den Darlegungen der Herren KLEIN und ROSSELAND[5]) sowie denen des Herrn FRANCK[6]) in vielen Fällen Weitergabe an andere Molekeln, Atome oder Elektronen. In unserem Fall kann die beanspruchte, mit einem Quantum beladene Ammoniakmolekel mit einem unbeanspruchten Ammoniakmolekel

[1]) P. P. KOCH und F. SCHRADER, Zeitschr. f. Physik **6**, 126. 1921.

[2]) R. STRÖMBERG, Zeitschr. f. wissensch. Photographie **22**, 165. 1923.

[3]) O. WARBURG und E. NEGELEIN, Zeitschr. f. physikal. Chem. **102**, 235. 1922; **106**, 191. 1923.

[4]) E. WARBURG, Ber. d. Berl. Akad. 1914, S. 881.

[1]) H. A. LORENTZ, Verslagen Akad. Amsterdam **14**, 251. 1905/06.

[2]) CHR. FÜCHTBAUER und C. SCHELL, Phys. Zeitschr. Jg. 14, S. 1164. 1913; CHR. FÜCHTBAUER und W. HOFMANN, Phys. Zeitschr. Jg. **14**, S. 1168. 1913; Ann. d. Phys. (4), **43**, 96. 1914.

[3]) E. WARBURG, Ber. d. Berl. Akad. 1911, S. 746.

[4]) J. STARK, Physikal. Zeitschr. **9**, 898. 1908.

[5]) O. KLEIN und S. ROSSELAND, Zeitschr. f. Physik **4**, 46. 1921.

[6]) J. FRANCK, Zeitschr. f. Physik **9**, 259. 1922.

zusammenstoßend die Reaktion $2\,NH_3 = N_2 + 3H_2$ herbeiführen, bei welcher freie Atome nicht auftreten und welche deshalb nur wenig Energie, nämlich nur $^1/_6$ des Quantums der Wellenlänge 0,207 μ erfordert. Wenn aber alle beanspruchten Ammoniakmolekeln zu dieser Reaktion gelangten, so würden zweimal soviel Molekeln zerfallen als beansprucht. Man muß daher weiter annehmen, daß die meisten beanspruchten Molekeln, ehe sie zu einem für den Eintritt jener Reaktion geeigneten Zusammenstoß gelangen, sei es durch Strahlung, sei es durch reaktionslose Zusammenstöße, so viel Energie verlieren, daß sie jene Reaktion nicht mehr herbeiführen können.

Ein zweites Beispiel ist die Ozonisierung des Sauerstoffes durch die Wellenlänge 0,253 μ [1]), deren Quantum kleiner ist als die geschätzte Dissoziationsarbeit der Sauerstoffmolekel. Bei einem Druck von 125 kg/ccm wurden nur 55%, bei 300 kg/ccm nur 29% der beanspruchten Sauerstoffmolekeln gespalten. Man kann hier z. B. annehmen, daß eine beanspruchte Sauerstoffmolekel mit zwei unbeanspruchten zusammentreffend, die Reaktion $3\,O_2 = 2\,O_3$ herbeiführt, welche nur 68 200 cal erfordert [2]), während in dem Quantum der Wellenlänge 0,253 μ 112 300 cal zur Verfügung stehen; doch muß man weiter, wie im Fall des Ammoniak, annehmen, daß nur ein kleiner Teil der beanspruchten Molekeln zu dieser Reaktion gelangt.

Hier wie in allen Fällen, in welchen das absorbierte Quantum kleiner ist als die Dissoziationsarbeit der beanspruchten Molekel, zeigt sich naturgemäß ein Gang der photochemischen Wirkung mit der Wellenlänge entgegengesetzt dem von dem Äquivalentgesetz geforderten.

Gegen Stern und Vollmer.

11. Die Herren STERN und VOLLMER [3]) wenden die Annahme des Herrn STARK auch auf den Fall an, in welchem das aufgenommene Quantum zur direkten Spaltung der beanspruchten Molekel ausreicht, z. B. nehmen sie an, daß eine beanspruchte Jodwasserstoffmolekel nicht sofort zerfällt, sondern mit einer anderen nicht beanspruchten zusammenstoßend die Reaktion $2\,JH = J_2 + H_2$ herbeiführt, und gelangen so zu demselben experimentell bestätigten Ergebnis, zu welchem die Annahme der direkten Spaltung führt. Doch bleibt nach ihrer Annahme unerklärt, weshalb für das Zutreffen des Äquivalentgesetzes das Quantum größer sein muß als die Dissoziationsarbeit der beanspruchten Molekel, und schwer verständlich, daß bei den Versuchen, bei welchen Bromwasserstoff und Jodwasserstoff mit verhältnismäßig kleinem Partialdruck in Wasserstoff oder Stickstoff gelöst waren, das Äquivalentgesetz zutraf. Anderseits erklären sie die Hypothese der direkten Spaltung für unhaltbar, weil in vielen Fällen eine Molekel einen Energiebetrag gleich oder größer als die Dissoziationsarbeit aufnehmen könne, ohne zu zerfallen. Indessen schließt dies nicht aus, daß sie in anderen Fällen unter diesen Umständen gespalten wird.

IV. Sensibilisierung.

Gültigkeit des Äquivalentgesetzes für den durch Chlor sensibilisierten Ozonzerfall.

12. Herr STARK hat durch seine Annahme der Energieübertragung auch die Erscheinungen der Sensibilisierung zu erklären versucht, worunter man das Verfahren versteht, eine Substanz für eine von ihr nicht absorbierbare Wellenlänge dadurch photochemisch empfindlich zu machen, daß man eine diese Wellenlänge absorbierende Substanz hinzusetzt; ein Verfahren, das von H. W. VOGEL [1]) herrührt und von ihm benutzt wurde, um die Empfindlichkeitsgrenze photographischer Platten nach Rot hin zu verschieben. Herr WEIGERT [2]) hat verschiedene sensibilisierte Gasreaktionen aufgefunden, so wurde durch Bestrahlung mit dem Licht einer Quecksilberlampe ozonisierter Sauerstoff mit Chlorbeimengung vollständig, ohne Chlorbeimengung in derselben Zeit nur wenig desozonisiert. Herr BONHOEFFER [3]) fand, indem er solche Versuche mit monochromatischem Licht der Wellenlänge 0,416 μ anstellte, daß für jede beanspruchte Chlormolekel zwei Ozonmolekeln desozonisiert wurden. Er nimmt an, daß eine beanspruchte Chlormolekel beim Zusammenstoß mit einer Ozonmolekel die Reaktion $O_3 = O_2 + O$ hervorbringt, und zwar, daß *jede* beanspruchte Chlormolekel so wirkt, daß also das Einsteinsche Gesetz gilt, daß endlich die sekundäre Reaktion $O + O_3 = 2\,O_2$ hinzukommt. Diese Annahmen erklären den experimentellen Befund. Auffällig bleibt dabei, daß die beanspruchten Chlormolekeln, obwohl sie bis zum Zusammenstoß mit Ozonmolekeln zahlreiche Zusammenstöße mit Sauerstoffmolekeln erleiden, *sämtlich* Energie genug für die besprochene Wirkung übrigbehalten; ferner, daß bei Sensibilisierung durch Brom für jede beanspruchte Brommolekel 31 Ozonmolekeln zerfielen.

V. Verwandlung Isomerer ineinander.

Fumarsäure und Maleinsäure.

13. Ich will schließlich einen Fall erwähnen, in welchem das Einsteinsche Gesetz gilt ohne daß mangels der Bestimmtheit des sekundären Vorganges quantitative Schlüsse möglich sind. Das ist der Fall der photochemischen Verwandlung Isomerer ineinander. Bestrahlt man z. B. wässerige Lösungen von Fumar- oder Maleinsäure mit kurzen Wellenlängen, so wird ein Teil der Substanz in die

[1]) E. WARBURG, Ber. d. Berl. Akad. 1914, S. 881.
[2]) STEPH. JAHN, Zeitschr. f. anorg. Chem. **60**, 337. 1908.
[3]) O. STERN und M. VOLLMER, Zeitschr. f. wissensch. Photographie **19**, 275. 1920.

[1]) H. W. VOGEL, Photogr. Mitt. **9**, 236. 1873.
[2]) F. WEIGERT, Ann. d. Physik (4) **24**, 255. 1907.
[3]) K. F. BONHOEFFER, Zeitschr. f. Physik **13**, 94. 1923.

Isomere umgewandelt, aber die Zahl der umgewandelten Molekeln ist viel kleiner als die Zahl der beanspruchten[1]). Als primäre Lichtwirkung betrachte ich dabei die Überführung der bestrahlten Molekel in einen energiereicheren Zustand, so daß das Äquivalentgesetz ohne weiteres erfüllt ist, als sekundäre Wirkung die Rückkehr aus diesem Zustand, welche teils in den ursprünglichen, teils in den isomeren erfolgt. Die Zahl der umgewandelten Molekeln ist daher kleiner als die Zahl der beanspruchten, und es kann nicht berechnet werden, wie viele Molekeln bei dem sekundären Vorgang in den isomeren Zustand gelangen.

VI. Schluß.

Erfolge der Quantenhypothese für die Photochemie.

14. Überblicken wir die Erfolge der Quantenhypothese für die Photochemie, so ist ein voller Erfolg zu verzeichnen in dem Grenzfall der Gültigkeit des Äquivalentgesetzes, in welchem im allgemeinen die Produkte der Photolyse aus der absorbierten Strahlungsenergie in ähnlicher Weise berechenbar sind wie die Produkte der Elektrolyse aus der durch den Elektrolyten gelangten elektrischen Ladung. Aber auch für die anderen Fälle liefert die Quantenhypothese höchst wertvolle Anhaltspunkte, indem sie erstens die Stärke der Beanspruchung der Molekeln kennen lehrt und zweitens in der aus ihr berechenbaren Zahl der beanspruchten Molekeln, sobald eine Annahme über den Primärprozeß zugrunde gelegt ist, eine obere Grenze für die Zahl der Primärprozesse liefert.

Schwierigkeiten für die Weiterentwicklung der Theorie.

15. Dagegen scheint es sehr schwierig zu sein, in den letztgenannten Fällen weiterzukommen. Wollte man zunächst versuchen, sich über die Art der Beanspruchung einer Molekel mittels der Bohrschen Theorie eine Anschauung zu bilden, so wäre zu bedenken, daß es sich hier um die Absorption nicht von Atomen, sondern von Molekeln handelt, einen sehr komplizierten Vorgang, indem die Energie als Rotations- als Schwingungsenergie und dadurch aufgenommen werden kann, daß ein Elektron eines Atoms in eine höhere Quantenbahn befördert wird. Ferner ist über die Verweilzeit, d. h. über die Zeit, bis zu welcher eine Molekel die aufgenommene Energie beibehalten kann, ohne sie wieder auszustrahlen, nichts Näheres bekannt, und endlich steht fest, daß eine chemische Reaktion, die vom energetischen resp. thermodynamischen Standpunkt aus eintreten kann, keineswegs immer wirklich eintritt. Es dürfte sich daher empfehlen, diese Fragen vorläufig ohne Rücksicht auf photochemische Vorgänge zu studieren.

[1]) E. WARBURG. Ber. d. Berl. Akad. 1919, S. 960.

Atome und Molekülstöße und ihre chemische Bedeutung.

Von J. FRANCK, Göttingen.

Das Thema „Atome und Molekülstöße und ihre chemische Bedeutung", über das mir die Ehre zuteil geworden ist, vor Ihnen zu sprechen, ist so ausgedehnt, daß ich nur einen kleinen Teil desselben im Rahmen dieses Vortrages besprechen kann, wobei ich die günstige Gelegenheit, auf den Ausführungen meiner Herren Vorredner aufbauen zu können, dankbar begrüße. Ich darf hiernach die Gründe als bekannt voraussetzen, die uns veranlassen, mit BOHR ein Atom als Planetensystem anzusehen, in welchem negative Elektronen auf quantenmäßig ausgezeichneten Bahnen eine positiv geladene Zentralsonne umkreisen. Die Einführung der Quantentheorie hat sich jedoch nicht nur als notwendig erwiesen, um die von der klassischen Elektrodynamik abweichenden Gesetze der Lichtemission und -absorption der Atome zu erklären, sondern sie ist ebenso notwendig, um das völlig unmechanische Verhalten der Atome bei Zusammenstößen mit anderen atomaren Gebilden wiederzugeben. Nach der kinetischen Gastheorie erfahren Atome eines einatomigen Gases ca. 10^{10}—10^{11} Zusammenstöße pro Sekunde untereinander. Sie verlaufen so, als ob kleine Kugeln von ca. 10^{-8} cm Durchmesser aus ideal elastischem Material aufeinandertreffen. Dann gelten die Gesetze des elastischen Stoßes (der Energie- und Impulssatz). Richtung und Geschwindigkeit ist nach dem Zusammenstoß geändert. Die Kugeln selbst aber bleiben unverändert. Ersetzen wir die Kugeln durch Planetensysteme, so sehen wir sofort, daß diese Zusammenstöße nur ohne Veränderung überstehen können, wenn sie eine unmechanische Stabilität besitzen. Ein normales Planetensystem würde durch einen Zusammenstoß, ja sogar durch Annäherung eines anderen Weltkörpers eine starke dauernde Veränderung der Bahnen erfahren.

Noch deutlicher als bei elastischen Stößen sehen wir die Wirkung der Quantenmechanik bei Stößen, bei denen die atomaren Gebilde in ihrem Bau verändert werden. Ich darf aus den vorangehenden Vorträgen entnehmen, daß nach den Bohrschen Grundanschauungen die Atome nicht beliebige Energie als innere Energie aufnehmen können, sondern nur solche, die das System aus einem in einen anderen nach der Quantentheorie ausgezeichneten sog. Quantenzustand überführen. Gehen wir von normalen, im niedrigsten Quantenzustand befindlichen Atomen aus, so haben wir gehört, daß Überführung in höhere Quantenzustände erfolgen kann durch Bestrahlung des Gases mit Licht, das von den Atomen absorbiert wird, wobei nur Licht von solchen Frequenzen aufgenommen wird, bei denen die Frequenzbeziehung $w_a - w_e = h\nu$ erfüllt ist. Durch Bestrahlung kann man sich also Atome im höheren Quantenzustand,

im sog. angeregten Zustand erzeugen. Als Umkehrung des Prozesses erfolgt dann die Reemission der aufgenommenen Energie wiederum in Form monochromatischer Strahlungen, die der Frequenzgleichung genügen. Dieses Wechselspiel zwischen Absorption und Emission von Licht, das wir als Fluorescenz von Gasen bezeichnen, hat ein Analogon bei Zusammenstößen von Atomen untereinander. Betrachten wir zuerst nur den Anregungsprozeß, so müssen wir erwarten, daß er folgendermaßen vor sich geht. Atome, deren relative kinetische Energie beim Zusammenstoß kleiner ist als die zur Anregung eines Quantensprunges notwendige, stoßen nur elastisch zusammen. Die kinetische Energie wird nicht in Anregungsenergie eines der beiden Stoßpartner überführt. Das ist, wie wir sahen, in Übereinstimmung mit der Erfahrung. Bei Zusammenstößen jedoch, bei denen die Relativenergie gleich oder größer ist als die beim Quantensprung verbrauchte, kann Anregung, also Überführung von Bewegungsenergie in Quantenenergie stattfinden. Dann müssen wir angeregte Atome erhalten, die sich geradeso benehmen wie die durch Lichtabsorption angeregten. An Stelle der Beträge $h\nu$, die sie absorbiert haben, treten die entsprechenden Werte der kinetischen Energie $\frac{1}{2} m v^2 = h\nu$. Lassen wir also die kinetische Energie der Zusammenstöße von kleinen Werten an immer weiter wachsen, so muß das Gas zu leuchten anfangen und zwar muß als erste Lichtemission das langwelligste Glied der Absorptionsserie erscheinen, z. B. beim Natrium die *D*-Linien. Weiteres Anwachsen der Stoßenergie muß Auftreten weiterer Spektrallinien in der Reihenfolge ihrer Anregungsenergie ergeben. Ein Mittel, die Stärke der Zusammenstöße allmählich zu steigern, haben wir in der Wahl immer höherer Temperaturen, da die kinetische Energie der Atome proportional der absoluten Temperatur ansteigt. Die Beobachtungen über das Temperaturleuchten irdischer und stellarer Lichtquellen stehen hiermit vollkommen in Übereinstimmung. Die Zeit erlaubt nicht, näher darauf einzugehen. Ich möchte mich daher damit begnügen, nur ein einziges, zwar nicht sehr sauberes, aber dafür um so bekannteres Beispiel zu erwähnen, nämlich die Spektralemissionen von Flammen, die ja oft zum spektralanalytischen Nachweis chemischer Substanzen verwandt werden. Die Bunsenflamme, aus welcher durch entsprechend gute Verbrennung die glühenden festen Partikelchen der Kohle entfernt sind, leuchtet bei der in ihr herrschenden Temperatur praktisch nicht. Das ist zu erwarten, da die in der Flamme vorhandenen Gase, Stickstoff, Wasserstoff, Sauerstoff usw. alle eine hohe Anregungsenergie besitzen, die wesentlich größer ist als die kinetische Energie, mit der bei dieser Temperatur die Atome und Moleküle aufeinandertreffen. Bringen wir Alkali- oder Erdalkalisalze hinein, die wesentlich leichter anregbar sind, so sehen wir sofort das Leuchten. Auch hier haben wir typische Unterschiede, die in der Verschiedenheit der Anregungsenergie der Metalle liegen. Cäsium ergibt in der Bunsenflamme praktisch sein ganzes Bogenspektrum. Natrium, das schwerer anregbar ist, fast nur das erste Glied, die bekannten *D*-Linien und noch schwach die ersten Glieder der Nebenserie. Dem Temperaturleuchten ganz analog verhält sich die Temperaturionisation, d. h. die Anregung von Quantensprüngen, bei denen ein Elektron aus seiner normalen Quantenbahn bis in unendliche Entfernung gerissen wird. Auch auf diesem Gebiete sind durch Untersuchung irdischer, vor allem jedoch stellarer Lichtquellen große Erfolge erzielt, die die Notwendigkeit der Anwendung der Quantenmechanik auf Zusammenstöße eindeutig beweisen.

Statt der Zusammenstöße zwischen Atomen oder auch Molekülen untereinander können wir auch Zusammenstöße von Atomen mit freien Elektronen wählen. Gerade diese Untersuchungen sind besonders geeignet, nicht nur das Nacheinanderauftreten der verschiedenen Lichtemissionen bei Steigerung der Energie der Stöße zu beweisen, sondern auch die quantenmäßige Energieaufnahme nachzuweisen. Der Grund liegt darin, daß Elektronen auch in kleiner Zahl durch ihre elektrische Ladung sich bemerkbar machen, und daß man durch elektrische Felder ihnen jeden gewünschten Wert von kinetischer Energie zu geben vermag und durch elektrische Messungen ihre Energie vor und nach dem Stoße feststellen kann. Ich muß es mir versagen, näher auf die vielen verschiedenen Verfahren einzugehen, die man bei diesen Untersuchungen verwandt hat und will nur an einigen Stromspannungsdiagrammen demonstrieren, wie sich bei geeigneter Schaltung die Unstetigkeit der Energieaufnahme bemerkbar macht.

Fig. 1 zeigt das Resultat einer Elektronenstrommessung in einem einatomigen Gase, nämlich in Quecksilberdampf, unter Bedingungen, unter denen nur der erste Quantensprung angeregt wird. Als Ordinate sind Stromstärke und als Abszisse die Voltwerte der die Elektronen beschleunigenden Spannung aufgetragen. Es zeigen sich starke Maxima an den Stellen, an welchen die Spannung ein ganzzahliges Vielfaches einer bestimmten kritischen Spannung ist. Die kritische Spannung erweist sich als identisch mit derjenigen, die ein Elektron durchlaufen muß, um gerade die kinetische Energie zu besitzen, die es zur Anregung des ersten Quantensprunges beim Zusammenstoß übertragen muß. Haben wir jedoch auf diese Weise uns angeregte Atome erzeugt, dann muß auch die Lichtemission, die dem Anregungszustande entspricht, auftreten. In unserm Fall also dasjenige monochromatische Licht, das am leichtesten angeregt wird, das erste Glied der Absorptionsserie.

Fig. 2 zeigt Ihnen ein solches Einlinienspektrum des Calciumdampfes.[1])

Fig. 3 mag als Beispiel dienen, wie in den Elek-

[1]) Siehe die mit dem Pfeil bezeichnete Linie des oberen Spektrums. Das untere Spektrum gibt zum Vergleich das Bogenspektrum des Calciums.

tronenstrommessungen bei geeigneter Schaltung sich die Anregung höherer Quantensprünge durch Knicke in den Kurven äußert. Jeder Knick entspricht der Anregung neuer Quantenzustände, folglich muß die spektroskopische Untersuchung bei den entsprechenden Voltwerten das Auftauchen neuer Spektrallinien ergeben.

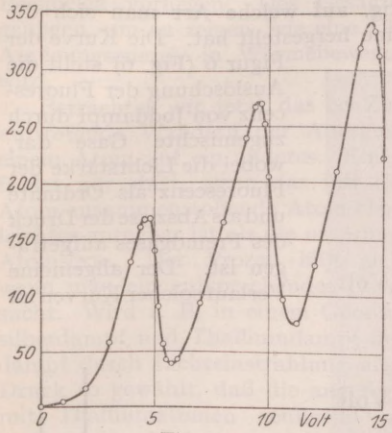


Fig. 1.

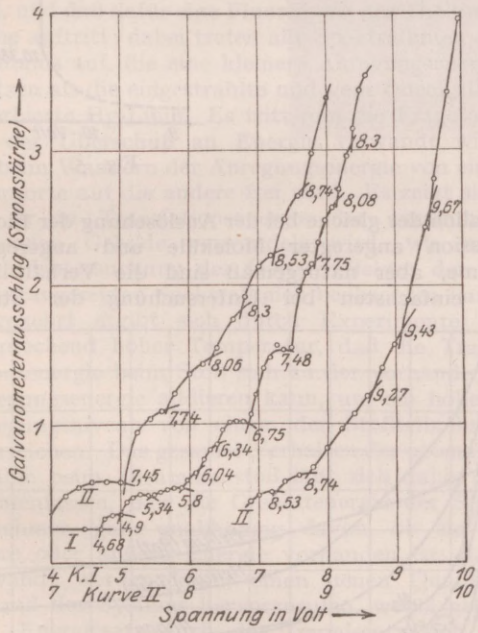


Fig. 3.

Fig. 4 gibt ein Beispiel hierfür. Es ist einer neueren Untersuchung von G. HERTZ entnommen. Sie sehen hier z. B. von den Linien 3650 Å und 4916 Å bei der Spannung 8,7 Volt noch nichts, während sie bei der Spannung 9,7 Volt schon in voller Stärke erscheinen.

Schließlich zeigt Fig. 5, wie sich besonders deutlich in geeignet aufgenommenen Stromspannungskurven der Quantensprung bemerkbar macht, bei dem ein Elektron ganz dem Atom entrissen wird. Dann tritt Ionisation ein, es werden neue Elektronen und positive Ionen gebildet, die an die Elektroden wandern; das Leitvermögen nimmt bei dem entsprechenden Voltwert (hier 10,3 Volt im Hg-Dampf) jäh zu.

Wir sehen somit, daß die quantenmäßige

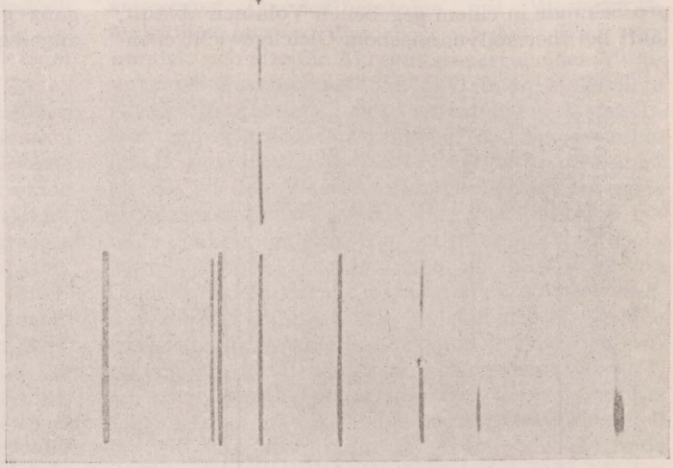


Fig. 2.

Aufnahme von Energie bei Zusammenstößen sich experimentell gut nachweisen läßt. Die erwähnten Beispiele bezogen sich auf Anregung von Quantensprüngen an Atomen, es macht aber keinen prinzipiellen Unterschied, wenn wir dieselben Verfahren auf Zusammenstöße mit mehratomigen Molekülen anwenden.

Wir kommen jetzt zum zweiten Teil des Vortrages, der die verschiedene Verwendung der Quantenenergie angeregter Atome und Moleküle bei Zusammenstößen behandeln soll. Wir haben gesehen, daß angeregte Atome oder Moleküle, ganz gleich in welcher Weise sie angeregt sind[1]), ihre Anregungsenergie in Form von Strahlung wieder abgeben. Dieser Prozeß ist der einzige, der spontan stattfindet, wenn die angeregten atomaren Gebilde sich selbst überlassen werden. Lassen wir jedoch zu, daß die angeregten Atome oder Moleküle, bevor sie in ihren Normalzustand zurückgekehrt sind, Zusammenstöße mit anderen Atomen, Molekülen oder Elektronen machen, so kann die Quantenenergie auch in völlig anderer Weise verwandt werden. Sie kann verwandt werden, um die Temperaturbewegung der beiden Stoßpartner zu vergrößern, sie kann in chemische Energie umgesetzt werden, wobei ich auf den Vortrag meines Herrn Vorredners verweisen kann, sie kann schließlich benutzt werden zur Anregung von Quantensprüngen an dem Stoßpartner, der vor dem Zusammenstoß nicht angeregt war. Es

[1]) Auf Anregung sog. metastabiler Zustände, die ihre Anregungsenergie nicht in Form von Strahlung wieder abgeben können, kann hier nicht näher eingegangen werden.

ist möglich gewesen, diese verschiedenen Elementarprozesse unter geeigneten Bedingungen einzeln zu untersuchen, wobei als Leitfaden ein Prinzip dient, das zuerst von KLEIN und ROSSELAND auf diese Stoßvorgänge angewandt wurde. Dieses Prinzip lautet in vereinfachter Fassung: Ein Prozeß, der in einer bestimmten Richtung n mal pro Sekunde in einem gegebenen Volumen abläuft, läuft bei thermodynamischem Gleichgewicht ebenfalls n mal pro Sekunde in umgekehrter Richtung ab.

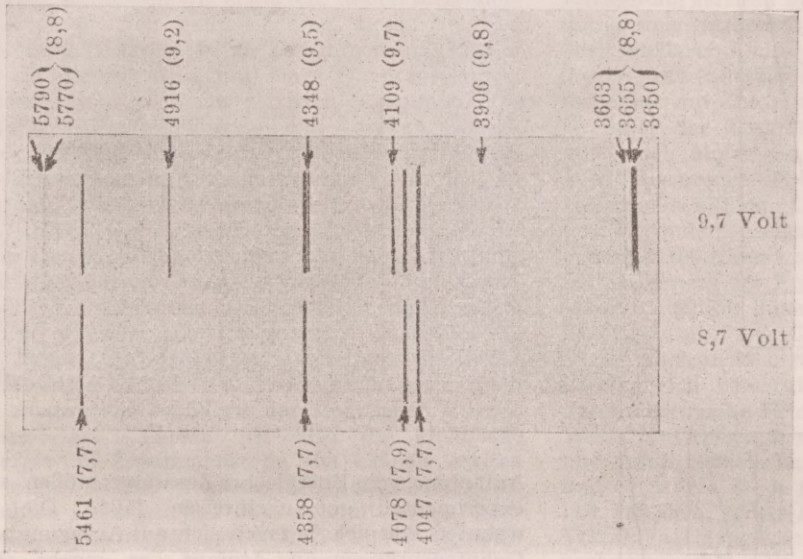


Fig. 4.

Nun können wir aus den oben geschilderten Versuchen entnehmen, daß ein endlicher Bruchteil aller Zusammenstöße atomarer Gebilde, bei denen die relative kinetische Energie groß genug ist, zur Anregung von Quantensprüngen führt. Es wird also in einem genügend hoch erhitzten Gemisch von Atomen, Molekülen und Elektronen häufig Translationsenergie in Anregungsenergie überführt. Daraus läßt sich nach dem erwähnten thermodynamischen Satze schließen, daß im Gleichgewicht ebensooft Anregungsenergie in Translationsenergie verwandelt werden muß, wobei der Prozeß eine zeitliche Umkehrung des Anregungsprozesses ist. Bei der Anregung stoßen unangeregte Atome großer kinetischer Energie zusammen, verlieren Translationsenergie und ergeben Anregungsenergie. Die Umkehrung lautet dann, langsame, angeregte Atome stoßen mit normalen zusammen, wobei die Anregungsenergie in der Art eines Explosionsprozesses in Translationsenergie der beiden zusammenstoßenden Atome verwandelt wird. Wir wollen mit KLEIN und ROSSELAND den ersten Prozeß einen Stoß erster Art, den letzteren einen Stoß zweiter Art nennen. Wenn Stöße zweiter Art im thermodynamischen Gleichgewicht vorkommen, so muß man ihr Auftreten auch in Nichtgleichgewichtsversuchen nachweisen können. Ergab sich aus der Anregung von Leuchtprozessen durch Zusammenstöße das Auftreten von Stößen erster Art, so muß durch Vernichtung der Lichtemission angeregter Atome bei Zusammenstößen mit anderen Atomen sich die Wirkung der Stöße zweiter Art erweisen lassen. Dabei ist es natürlich ganz gleichgültig, auf welche Art man sich die angeregten Atome hergestellt hat. Die Kurve der Figur 6 (Fig. 6) stellt die Auslöschung der Fluorescenz von Joddampf durch zugemischte Gase dar, wobei die Lichtstärke der Fluorescenz als Ordinate und als Abszisse der Druck des Fremdgases aufgetragen ist. Der allgemeine Verlauf solcher Kurven ist

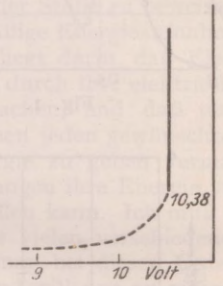


Fig. 5.

ziemlich der gleiche bei der Auslöschung der Lichtemission angeregter Moleküle und angeregter Atome, aber naturgemäß sind die Verhältnisse am einfachsten bei Untersuchung der Stöße

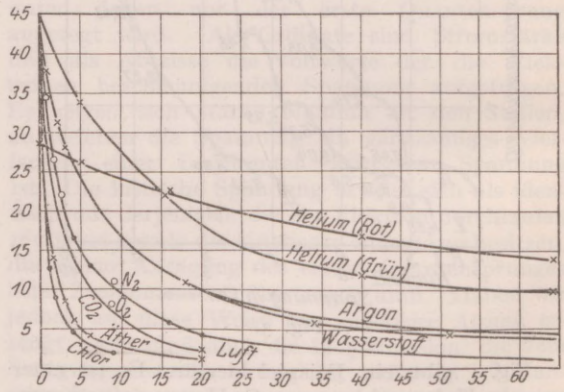


Fig. 6.

zweiter Art in Mischung einatomiger nicht miteinander reagierender Gase. Es hat sich dabei gezeigt, daß (was auch für fluorescierende Moleküle stimmt, wie aus obigen Kurven hervorgeht) die Häufigkeit der lichtauslösenden Stöße zweiter Art sehr abhängig ist von der Art der zusammenstoßenden Gase. Zum Beispiel ist die Ausbeute

bei Zusammenstößen mit Edelgasen sehr klein. Ferner ergibt sich eine starke Abhängigkeit von der Art des Anregungszustandes. So brauchen z. B. höher angeregte Atome nicht ihre gesamte Anregungsenergie in einem Elementarakt in Wärme zu verwandeln, sondern der Prozeß kann auch stufenweise vor sich gehen, wofür eine Reihe von Beispielen vorliegen. Das Gesagte mag jedoch genügen, um zu zeigen, wie eine Überführung der Anregungsenergie in Wärmebewegung beobachtet wird.

Betrachten wir jetzt das bei Zusammenstößen auftretende Wandern der Anregungsenergie von einem Atom auf ein anderes. Ein solcher Prozeß findet nur statt, wenn das mit dem angeregten Atom zusammenstoßende Atom ebenso leicht oder leichter anregbar ist als die ursprünglich angeregte Atomsorte. Der Prozeß läßt sich beobachten, wenn man ein entsprechendes Gasgemisch untersucht. Wird z. B. in einem Gemisch von Quecksilberdampf und Thalliumdampf der Quecksilberdampf durch Lichteinstrahlung angeregt und der Druck so gewählt, daß die angeregten Hg-Atome mit Thalliumatomen genügend oft zusammenstoßen, so beobachtet man, daß die Fluorescenz der Hg-Atome durch die Zusammenstöße geschwächt wird, und daß dafür eine Fluorescenz der Thalliumatome auftritt; dabei treten alle Spektrallinien des Thalliums auf, die eine kleinere Anregungsenergie besitzen als die eingestrahlte und vom Quecksilber absorbierte Hg-Linie. Es tritt nun die Frage auf, wie der Überschuß an Energie verwandt wird, der beim Wandern der Anregungsenergie von einer Atomsorte auf die andere frei wird. Es zeigt sich, daß er in Translationsenergie der zusammenstoßenden Gebilde verwandelt wird, wie man durch Untersuchung des Dopplereffektes der indirekt angeregten Spektrallinien beobachten kann. Umgekehrt ergibt sich durch Experimente bei entsprechend hoher Temperatur, daß die Translationsenergie beim Stoß sich zu der vorhandenen Anregungsenergie addieren kann, um ein höheres Anregungsniveau von einem der Stoßteilnehmer zu erreichen. Das gesamte Verhalten der atomaren Gebilde beim Zusammenstoß läßt sich dahin zusammenfassen, daß die Gesamtenergie der Stoßteilnehmer, ganz unabhängig davon, ob sie als innere oder äußere Energie vorhanden ist, dazu verwandt werden kann, einen neuen Quantenzustand des Systems hervorzurufen, wobei neben dem Energiesatz auch der Impulssatz sich als gültig erweist. In dem Fall, der nach dem Zusammenstoß sich wieder trennenden Atome übernimmt dann die Translationsenergie alle überschüssigen Beträge an Quantenenergie auf oder liefert die fehlenden.

Wir hätten nun dazu überzugehen, die Tatsachen zu besprechen, die bei Zusammenstößen angeregter Atome und Moleküle bzw. angeregter Moleküle untereinander als weitere Komplikationen hinzukommen können. Dabei handelt es sich naturgemäß hauptsächlich um Ausnutzung der chemischen Reaktionswärme. Wegen der innigen Berührung dieser Fragen mit dem im Vortrage über Photochemie von Herrn Präsident WARBURG behandelten kann ich mich hier sehr kurz fassen. Als Beispiel des Faktors, den die chemische Energie in der Energiebilanz der Stöße darstellt, mag die Tatsache dienen, daß bei Zusammenstößen angeregter Quecksilberatome mit Wasserstoffmolekülen letztere dissoziiert werden. Hier verwandelt sich also die Anregungsenergie einer Atomsorte bei Zusammenstößen mit einem Molekül in Dissoziationsenergie des getroffenen Moleküls. Das ist natürlich nur mögiich, da die von dem Quecksilberatom absorbierte Energie $h\nu$ größer ist als die an den Wasserstoffmolekülen zu leistende Dissoziationsarbeit. Auch Beispiele für eine genaue Umkehrung eines solchen Prozesses sind beobachtet worden. Sie bestehen im Nachweis von Chemiluminescenzen, die dadurch entstanden sind, daß die bei Bildung von Molekülen aus Atomen freiwerdende Wärme bei Zusammenstößen zur Anregung von Atomen oder Molekülen verwandt wird. In einer Verallgemeinerung der gemachten Erfahrung darf man sogar behaupten, daß prinzipiell bei jeder Reaktion neutraler Atome oder Moleküle Stöße notwendig sind, die ähnlich der geschilderten Art einen Quantenübergang des Systems hervorrufen. Hierbei ist es gleich, ob es sich um Bildungs- oder Zerfallsreaktionen, um Reaktionen mit oder ohne Einwirkung von Licht handelt, immer muß die Quantenmechanik sich bemerkbar machen und immer der Energie- und Impulssatz erfüllt sein. Betrachten wir als Beispiel den Fall zweier sich treffender neutraler Atome, die zu einem Molekül zusammentreten sollen. Die unterzubringende Energie setzt sich dann zusammen aus der freiwerdenden chemischen Energie und der kinetischen Energie, die die beiden zum Molekül sich vereinigenden Atome in unendlichem Abstande aufeinander hatten, und es entsteht die Frage, wie diese Energie, die größer ist als die Dissoziationsenergie des Moleküls, sich verteilt. Das einfachste wäre, wenn sie ganz als Anregungsenergie des neugebildeten Moleküls verwandt werden könnte. Wir kennen Anregungsenergien von Molekülen, die viel größer sind als die Dissoziationswärme, ohne daß die sie enthaltenden Moleküle spontan zerfallen; ein Zerfall findet vielmehr erst bei Zusammenstößen durch einen Stoß zweiter Art statt. Folglich kann auch ein frisch sich bildendes Molekül einen größeren Betrag als seine Dissoziationsarbeit als innere Energie aufnehmen. Trotzdem kann diese Verwendungsart der gesamten zur Verfügung stehenden Energie praktisch niemals vorkommen. Denn die gesamte innere Energie des Moleküls ist gequantelt, d. h. das Molekül vermag nur sehr genau bestimmte Energiebeträge als innere Energie aufzunehmen, und die Wahrscheinlichkeit, daß die Gesamtenergie gerade mit solchen Energiebeträgen haarscharf übereinstimmt, ist praktisch Null. Man könnte nun daran denken, daß Überschüsse an Energie in

Translationsbewegung überführt werden, wie das vorher beim Wandern der Quantenenergie von einem Atom auf das andere erwähnt wurde. Aber auch dieses Energiereservoir zur Aufnahme von Quantenresten muß beim Zusammenstoß zweier Atome, die nach dem Stoß sich nicht trennen sollen, versagen, denn nach dem Impulssatz muß die Schwerpunktsbewegung des Systems beider Atome vor und nach dem Stoß konstant sein, d. h. die Translationsenergie darf sich nicht ändern. Es bleibt nur übrig, die Überschüsse durch Zusammenstoß mit einem dritten Atom oder Molekül abzuführen, das sich sonst nicht weiter an der Reaktion beteiligt; da dieses sich von dem frischgebildeten Molekül wieder trennt, so können nunmehr unter Wahrung des Impulssatzes die Restbeträge in Translationsenergie überführt werden. Dies ist der Grund für die Notwendigkeit von Dreierstößen zum Zustandekommen einer Reaktion, die schon von BOLTZMANN (allerdings aus Gründen, die wir heute nicht mehr als triftig ansehen) gefordert wurden und die, wie neuere Untersuchungen über Reaktionsgeschwindigkeit zeigen, tatsächlich notwendig sind. Wir erkennen auch hier ein Wirken der Quantenmechanik, d. h. Aufnahme von ausgezeichneten Werten als innere Energie, wobei Energie- und Impulssatz sich als streng gültig erweisen.

Die physikalischen Grundlagen der Sonnen- und Himmelsstrahlung und ihre Anwendung in der Therapie.

Von C. DORNO, Davos.

Das mir gestellte Thema ist wohl vor allen anderen geeignet, viele Zweige der Naturwissenschaften und der Medizin zu gemeinsamem Studium zu vereinigen, berührt es doch mehr oder weniger alle, greift es doch tief in die Praxis des täglichen Lebens.

Um die Sonnen- und Himmelsbestrahlung zu verstehen, müssen wir uns über den Umfang des Problems klar werden: Es ist ein zweiteiliges und gilt der Untersuchung 1. der Strahlungsquelle und 2. des zwischen dieser und uns liegenden Mediums, der Erdatmosphäre, welche die sie durchsetzende Strahlung nach Richtung, Intensität, Farbe und Polarisationszustand weitgehend modifiziert.

Die Sonne, ein gelber Fixstern der Spektralklasse G und der Größenklasse — 26.72, in ihrer mittleren Entfernung von der Erde von etwa 150 Millionen Kilometer, steht der Erde infolge der Exzentrizität der Erdbahn im Winter um etwa 5 Millionen Kilometer näher als im Sommer. Da auch im leeren Weltenraum die Intensität proportional dem Quadrat der Entfernung abnimmt, wird bei gleichbleibender Strahlenemission die Erde im Dezember von einer etwa 7% stärkeren Sonnenstrahlung erreicht als im Juni — ein großes Gnadengeschenk für die nördliche Halbkugel.

Auf die Konstitution der Sonne näher einzugehen, verbietet die Zeit. Bekannt ist Ihnen allen, daß sie aus der stets in ungeheurer Tätigkeit befindlichen feurig-flüssigen Photosphäre, dem eigentlichen Sitz der Strahlung, besteht und der diese umgebenden Sonnenatmosphäre, der Chromosphäre, und daß sich in letzterer Prozesse mit einer $11^1/_9$-jährigen Periode abspielen, welche unseren irdischen Antizyklonen ähnlich sind und die sich uns durch die Sonnenflecken und magnetischen und Nordlichterscheinungen kundgeben. Daß ein aus so heterogenen Massen gebildeter, stets in ungeheurer Tätigkeit befindlicher Körper wie die Sonne nicht immer Strahlung gleicher Intensität und gleicher spektraler Zusammensetzung aussendet, ist a priori anzunehmen, und wenn die Schwankungen sich nicht auch im praktischen Leben fühlbar machen, ja wenn sie selbst von der Wissenschaft noch nicht mit vollkommener Sicherheit verfolgt werden können, so hat das zwei Gründe, nämlich 1. auch bei den größten Fleckenmaxima ist noch nicht der fünfhundertste Teil der Sonnenoberfläche von Flecken bedeckt, und auch diese sind ja nur relativ, nicht absolut dunkel, 2. die stärker einfallende Strahlung verursacht in der Erdatmosphäre gewisse noch zu erwähnende Veränderungen, welche ihre Durchlässigkeit vermindern.

Die Erdatmosphäre besteht in den von Menschen bewohnten oder ihnen erreichbaren Höhen im wesentlichen aus Stickstoff, Sauerstoff, Argon, welche infolge der dauernd vorhandenen vertikalen und turbulenten Luftströmungen praktisch stets in demselben Mengenverhältnis gefunden werden und im allgemeinen chemisch nicht aufeinander einwirken. Schon an der oberen Wolkengrenze ändert sich das. Sie fällt etwa mit der durch Pilotballons sicher nachgewiesenen sogenannten oberen Inversionsschicht zusammen, d. h. der Schicht, von welcher ab die bei Aufstieg von der Erdoberfläche bis zu etwa $-55°$ C gesunkene Temperatur wieder einen kleinen Anstieg zu zeigen pflegt. In unseren Breiten ist sie in etwa 10 bis 12 km Höhe, mit der Jahreszeit schwankend, zu suchen, an den Polen in etwa 8 km, am Äquator in etwa 17 km. Unsere Kenntnisse von den hohen Atmosphärenschichten tragen noch recht hypothetischen Charakter, als sicher ist nur anzugeben, daß wir mit einer Höhenausdehnung von mindestens 600 km zu rechnen haben. Mit zwei verschiedenen Wirkungen der Erdatmosphäre auf die sie passierende Sonnenstrahlung haben wir nach sichergestellten physikalischen Gesetzen zu rechnen: 1. der Extinktion, 2. der selektiven Absorption. Durch die erstere werden die Strahlen nur aus ihrer gradlinigen Richtung abgelenkt und erreichen als diffuse Himmelsstrahlung auf Umwegen die Erde, von geringen Verlusten durch Rückstrahlung zum Weltenraum abgesehen, durch die letztere geht die

Strahlungsenergie als solche verloren und wandelt sich in andere (chemische oder thermische) Energieform. Unter Extinktion faßt die meteorologische Optik alle Effekte der Beugung, Brechung und Reflexion zusammen, und der effektvollste unter ihnen ist der der Beugung, denn er findet hauptsächlich an den Molekülen der Luftgase selbst statt. Diese wirken auf die durchfallende Strahlung wie ein trübes Medium, d. h. wie ein durch kleinste, auch ultramikroskopisch nicht sichtbar zu machende Teilchen in der Durchsicht geschwächtes Medium, und schwächen daher alle in der Sonnenstrahlung vorhandenen Strahlengattungen nach dem Rayleighschen Gesetz umgekehrt proportional der vierten Potenz ihrer Wellenlänge. Es leiden also vornehmlich die kurzwelligen Sonnenstrahlen, und die Sonnenstrahlung wird daher um so röter, je weitere Strecken sie in der Atmosphäre zurücklegt, und das Medium, an welches sie ihre Energie überträgt, der Himmel, wird blau. Sind der Luft größere Fremdpartikel beigemischt, d. h. solche Fremdpartikel, deren Durchmesser groß ist gegenüber der Wellenlänge der auffallenden Strahlung, wie Staub, Wasserdampf, Kondensationskerne aller Art, so reflektieren, beugen und brechen diese die weißlichgelben Sonnenstrahlen ohne wesentliche Farbenänderung, und durch Überlagerung dieser Strahlen über die durch Beugung an den Luftmolekülen entstandene reinblaue Farbe wird der Himmel weißlichblau. Durch die selektive Absorption leidet vornehmlich das ultrarote Spektrum der Sonne, sie ist auch die Ursache des vorzeitigen Abbruches des Sonnenspektrums im Ultrarot und im Ultraviolett, denn nach der Gestalt der extraterrestrischen Energiekurve der Sonne müßte sich nach beiden Seiten hin das Sonnenspektrum weiter ausdehnen, als es der Fall ist. Selektiv absorbieren insbesondere Wasserdampf, Kohlensäure und Ozon, welch letzteres in hohen Höhen in reichem Maße vorkommen muß. Sie speichern die absorbierte Strahlungsenergie als Wärme auf und wirken durch Rückstrahlung der Wärme auf die Erdoberfläche wie ein schützender Wärmemantel auf diese, sie vor zu starker Ausstrahlung gegen den Weltenraum und dadurch vor zu großer Abkühlung bewahrend. Das Gesagte wird genügen, um zu erkennen, daß je nach dem Zustande der Atmospäre und je nach der Sonnenhöhe, von der ja doch der Weg, den die Strahlen zurückzulegen haben, um zu uns zu gelangen, abhängt, das Spektrum der Sonne ein verschiedenes sein muß, und daß sich daraus die Aufgabe ergibt, die einzelnen Spektralteile gesondert zu untersuchen und sich nicht mit der Bestimmung der Gesamtenergie und ihrer Schwankungen zu begnügen. Die Amerikaner sind auf diesem Wege weit voran. LANGLEY hat eine freilich sehr umständliche und kostbare Methode ausgearbeitet, um innerhalb kürzester Zeit die Energie aller Einzelteile des Spektrums aufzunehmen, und seine Schüler und Mitarbeiter ABBOT und FOWLE haben sie weiter ausgebaut und schon länger als ein Jahrzehnt angewandt hauptsächlich zu dem Zweck, aus ihren Messungen auf die extraterrestrische Sonnenstrahlung und ihre Schwankungen zu schließen, die sogenannte Solarkonstante.

So wertvoll nun auch die Aufschlüsse sind, welche uns die Langley-Abbotschen Messungen über die Konstitution der Sonne und der Erdatmosphäre und die sie beherrschenden Gesetze gebracht haben, so genügen sie doch nicht den Anforderungen der Praxis. Bis vor nicht langer Zeit war diese hinsichtlich der Sonnenstrahlung allein auf die Aufzeichnungen des bekannten Glaskugelheliographen angewiesen, welcher nur die Sonnenscheindauer, nicht die Sonnenintensität meldet. Verwunderlich erscheint es, daß die Meteorologie über ihr Haupt- und Ausgangselement, das doch erst alle anderen in Wirkung und Tätigkeit setzt, noch so wenig unterrichtet ist. Dies hat seine Ursache in der Schwierigkeit, welche exakte Messungen bieten. Auf die Methodik kann ich heute bei der beschränkten Zeit nicht näher eingehen, sondern tue besser, einige Resultate zu melden mit dem Hinzufügen, daß neben calorischen photometrische, photographische, photoelektrische, pyrometrische Meßverfahren im Gebrauch sind und es gelungen ist, für alle Spektralbezirke der Sonne und des Himmels nicht nur genügend sichere Meßmethoden, sondern auch genügend sichere Dauerregistriermethoden auszubilden, wenngleich zu ihrer Vereinfachung und Vereinheitlichung noch viel geschehen kann und muß.

Auf die Hauptspektralteile des Sonnenspektrums entfällt eine sehr verschiedene Zahl von Wellenlängen: Auf das Ultraviolett rund 100, etwa von 290 bis 390 $\mu\mu$, auf das sichtbare etwa viermal soviel, nämlich von 390 bis 760 $\mu\mu$, auf das Ultrarot wiederum etwa viermal soviel von 760 bis 2300. Oberhalb etwa 2300 und unterhalb etwa 290 $\mu\mu$ schneidet das Sonnenspektrum praktisch ab. Durchzogen ist es von etlichen Tausend feiner dunkler, nach FRAUENHOFER benannter Linien, im Ultrarot schließen sie sich zu breiten Banden zusammen, den sogenannten „kalten Banden", verursacht hauptsächlich durch die Absorption des Wasserdampfes, der Kohlensäure und des Ozons. Sie sind es, welche je nach ihrer von Sonnenhöhe und atmosphärischem Zustande abhängigen Ausdehnung die Intensität des Ultrarots entscheidend beeinflussen. Von der Gesamtenergie entfallen bei mittlerer Sonnenhöhe etwa 59% auf das Ultrarot, 40% auf den sichtbaren Spektralteil und kaum 1% auf den ultravioletten. Die Intensität der Sonnenstrahlung ist in erster Linie abhängig von der Höhe der Sonne über dem Horizont, denn diese bestimmt die von den Strahlen in der Atmosphäre zurückzulegende Wegstrecke, wie leicht einzusehen ist, wenn man, von der Kugelgestalt der Erde absehend, sich die Atmosphäre einer horizontalen Fläche gleichmäßig aufgelagert denkt. Der senkrecht durchfallende Strahl, d. h. die Strahlen einer Zenitsonne, hat den kürzesten Weg bis zur Erde zurückzulegen, der Weg wird um so länger, je tiefer die Sonne steht, und zwar wächst er annähernd um-

gekehrt proportional dem Sinus der Sonnenhöhe. Der Zenitsonne, d. h. der Weglänge 1, kommt für gelbe Strahlen etwa 78% der einfallenden Intensität zu, mit niedrigerer Sonne nimmt die Intensität zunächst langsam, dann von etwa 40° schneller und mit stets wachsender Geschwindigkeit ab und beträgt bei 5° Sonnenhöhe nur noch 1% der einfallenden Intensität. Das Verhältnis von durchfallender zu einfallender Intensität bei Zenitsonne und Standort im Meeresniveau nennt man den Transmissionskoeffizienten. Aus ihm errechnet sich leicht mittels der bekannten Extinktionsformel die Intensität für jede beliebige Sonnenhöhe und auch für die einfallende (extraterrestrische) Strahlung. Er ist für gelbe Strahlung nach obigem etwa gleich 0,78 und um so größer, je größer die Wellenlänge der Strahlung ist, also für Rot größer als für Blau. Bei tiefer Sonne verschwinden alle violetten und blauen Strahlen, die Sonne erscheint dann nur gelbrot. Je höher ein Punkt über dem Meeresniveau liegt, um so kleiner wird die auf ihm ruhende Luftschicht, um so kleiner also auch der Weg, den die Sonnenstrahlung zu ihm zurückzulegen hat. In die Extinktionsformel geht alsdann das Verhältnis des am Beobachtungspunkt zu dem im Meeresniveau herrschenden Luftdruck als Exponent ein, und die durchfallenden Intensitäten erhöhen sich dadurch sehr bedeutend. Aus den auf dem Mount Wilson und in Washington gefundenen Werten leitet C. G. ABBOT ab: „Von der gesamten Energiemenge, welche die Sonne der Erde zustrahlt, gelangen nur 75% bis zu 1800 m Höhe und nur 50% bis zum Meeresniveau, und unter Berücksichtigung der Bewölkung sogar nur 52% bzw. 24%. Im Mittel erhält also durch direkte Sonnenstrahlung das Meeresniveau nicht die Hälfte der Strahlungsenergie, welche zu 1800 m Höhe gelangt."

Nur selten freilich stehen die bei verschiedenen Sonnenhöhen gemessenen Werte in den rechnerisch abgeleiteten Verhältnissen, denn der tägliche und jährliche Gang der meteorologischen Elemente und ihre aperiodischen Schwankungen in Abhängigkeit von den Luftzirkulationen, dazu Kondensationsneigung und Staub modifizieren die Intensitäten stark und in verschiedenem Maße stark für jeden Spektralteil. Die Gesamtintensität der Sonnenstrahlung, im Wärmemaß gemessen, wird stets die Grundlage aller exakten Strahlungsmessungen bilden müssen sowohl für die Meteorologie, weil diese ja im wesentlichen nur die Intensitäten und Summen der zu- und ausgestrahlten Wärme angehen, als auch für die Botanik, die gesamte Biologie und Medizin für ihre Separatstudien. Die Messungen der Praxis zeigen, daß für die Gesamtintensität der Sonnenstrahlung keineswegs allein die Sonnenhöhe entscheidend ist, welche wir rechnerisch allein in Rechnung ziehen konnten, sondern daß ein Tages- und Jahresgang besteht, welcher sich in erster Linie durch den bei höher stehender Sonne und kräftigerer Bestrahlung des Erdbodens sich entwickelnden Auftrieb erklärt und in einer Senkung der Tageskurve um die Mittagszeit, der Jahreskurve im Sommer zum Ausdruck kommt, wechselnd stark von Ort zu Ort in Abhängigkeit von Feuchtigkeitsgrad, Staubgehalt und Windstärke. Daher fallen die Strahlungsmaxima meist auf den späteren Vormittag und die Jahresmaxima in die Frühjahrsmonate März/April. Mit Erhebung über den Meeresspiegel nimmt, wie erwähnt, die Strahlung zu. Ein Vergleich der in Petersburg, Potsdam, Neapel, Washington, Davos, Pic von Teneriffa gemessenen Mittagsintensitäten läßt etliche Charakteristica erkennen: Die weitaus größte Jahresamplitude hat, wie zu erwarten war, das nördlich gelegene Petersburg, es kann aber im Frühjahr und Sommer gleiche und noch größere Intensitäten aufweisen als die volle 20 Breitengrade südlicheren, durch den Wasserdampf des nahen warmen Meeres beeinträchtigten Orte Neapel und Washington. Mit der Höhe nimmt die Strahlungsintensität zu, und sie wird gleichzeitig gleichmäßiger im Jahreslaufe; wie ein Vergleich der Petersburger und Potsdamer mit der Davoser Kurve beweist. Steigt man noch 800 m höher und gleichzeitig etwa 20° weiter südlich nach Teneriffa, so steigert sich die Intensität noch weiter, und der Jahreslauf kehrt sich um, der Winter weist das Maximum auf. Im Winter steht, wie schon erwähnt, die Sonne der Erde näher als im Sommer, und in den niedrigen Breiten Teneriffas gibt es auch im Winter mittags keinen niedrigen, die Strahlen wesentlich schwächenden Sonnenstand. Auf seiner vorjährigen Tropenreise hat der Pole GORCZYNSKI durch sehr fleißige Messungen auf Java, in Siam und auf dem Meere festgestellt, daß die Sonnenintensitäten, an welche wir im Hochsommer gewöhnt sind, in der Äquatorialzone auf dem Meere oder am Meeresstrande nicht vorzufinden sind, auch LINKE hat auf seiner vorjährigen Reise nach Argentinien auf dem Meere keine hohen Werte, bei den Cap-Verde-Inseln und in der Calmenzone sogar recht gedrückte Werte gefunden; beide Forscher fanden gleichzeitig, daß es der Rotgehalt der Strahlung ist, welcher am meisten leidet, der reiche Wasserdampf der Tropenzone ist es, der die Intensität so stark mindert. In hohen Berglagen, auf dem Mount Pangerango auf Java und auf den chilenischen und bolivianischen Anden fanden dagegen beide ähnlich hohe Werte, wie sie die Teneriffakurve hier meldet, 1,60 bis 1,64 Calorien, fast die höchsten bisher auf der Erdoberfläche gefundenen und schwer ertragbaren.

Nun aber genügen Einzelmessungen bei klarer Sonne wahrlich nicht, um das Strahlungsklima eines Ortes zu charakterisieren, denn die effektiven Strahlungs*summen*, welche die Erdoberfläche erreichen, sind die klimatisch entscheidenden für alles organische Leben. Soweit zuverlässige Registriervorrichtungen nicht vorhanden sind, welche in den jüngsten Jahren gsschaffen und an einigen wenigen Orten der Erde im Gebrauch sind, ist man angewiesen auf die Ableitung der Summen aus den bei klarer Sonne gemessenen Intensitäten und der

von den Glaskugelheliographen angezeigten Sonnenscheindauer. Diese Ableitungen sind für eine ganze Anzahl von Orten durchgeführt. Die Unterschiede der Strahlungssummen sind recht bedeutend: Trotz seiner eingeschlossenen Hochtallage empfängt beispielsweise Davos um 50% mehr Wärmestrahlung im Jahr als Potsdam, und die Verteilung der Strahlungssummen über das Jahr ist eine viel günstigere, denn die Wärmesumme der Wintermonate hat in Davos den dreifachen Wert der Potsdamer, während die Wärmesumme des Hochsommers nur wenig größer ist. Diese beiden Momente, gesteigerte, aber nicht ausartende Intensität und größere Gleichmäßigkeit im Tages- und Jahreslaufe, sind die Hauptcharakteristica des Strahlungsklimas der Höhen in mittlerer geographischer Breite. Zu ihnen gesellt sich ein drittes, nämlich eine qualitativ verbesserte Strahlung, d. h. ein größerer Reichtum an biologisch wirksamen kurzwelligen Strahlen. Am eindrucksvollsten für das verschiedene Verhalten der verschiedenen Spektralteile der Sonne bleiben noch immer die Kurven, welche den Tages- und Jahresgang der ultravioletten und der Gesamtintensität der Sonnenstrahlung für Davos darstellen; sie sind seinerzeit abgeleitet aus ungezählten, während etlicher Jahre durchgeführten Einzelmessungen, heute springen die Charakteristica und die sehr verschiedenen Amplituden der beiden Kurvengattungen aus jeder Tagesregistrierung eines jeden ungestörten Tages heraus. Die Kurven besagen: Wenn beide, Gesamt- und ultraviolette Strahlung, für den 15. Juli mittags gleich gesetzt werden, so ist die ultraviolette am 15. Januar mittags nur $^1/_{10}$, am 15. Januar morgens nur $^1/_{20}$ so groß wie die Gesamtstrahlung. Eine derartig größere Amplitude hat die ultraviolette Intensität. Es kann für den Arzt unmöglich gleichgültig sein, ob er die zehnfache oder einfache Dosis verordnet. Nach dem, was wir vorher gehört, sind die Schwankungen in der Ebene noch größer. Nicht weil die Sonne im Sommer soviel wärmer ist, sondern weil sie so ungemein viel reicher an ultravioletten Strahlen ist, treten bei forcierten Sonnenkuren beträchtliche Schädigungen der Haut oder gar des ganzen Menschen auf, fällt doch, wie wir gesehen haben, das Maximum der Wärmestrahlung gar nicht in den Sommer. Auch bei gleichen Sonnenhöhen ist keineswegs der prozentuale Gehalt an ultravioletten Strahlen stets der gleiche, im Gegenteil, es zeigt sich in Davos alljährlich seit dem Beginn dieser Beobachtungen im Jahre 1910 ein systematischer Jahresgang, welcher auch in Kolberg wiedergefunden ist, dergestalt, daß bei gleicher Sonnenhöhe die Frühjahrssonne ärmer an ultravioletten Strahlen ist als die Herbstsonne. Dem scheint zu widersprechen, daß die Frühjahrssonne besonders stark pigmentierend wirkt. Auch über diesen scheinbaren Widerspruch geben die Davoser Untersuchungen Aufschluß: Es ist nämlich die ultraviolette Intensität nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ untersucht durch mehrjährige Registrierungen mittels eines UV-Spektrographen, welcher die im Spektrum vorhandenen ultravioletten Strahlengattungen dauernd aufzeichnet. Das große Material ist verarbeitet insbesondere auf die kleinsten vorhandenen Wellenlängen, und es hat sich gezeigt, daß diese mit Tages- und Jahreszeit recht bedeutend schwanken, nämlich um die Mittagszeit vom Winter zum Sommer um etwa 12 $\mu\mu$ und um etwa 20 $\mu\mu$, wenn die Sonne von 10° auf 60° steigt. In ihrer epochemachenden, aufs exakteste im spektralzerlegten Licht unter gleichzeitiger Bestimmung der Energie der einzelnen Spektrallinien durchgeführten Untersuchung über die erythem- und pigmentbildende Kraft der ultravioletten Strahlen, gemessen an der Empfindlichkeit der Oberhaut des Armes, haben HAUSSER und VAHLE ihre Empfindlichkeitskurve mit der in Davos ermittelten, die Schwankungen der Ausdehnung des ultravioletten Sonnenspektrums betreffenden zusammengezeichnet. Es zeigt sich, daß das scharf pointierte Empfindlichkeitsmaximum der Haut zusammenfällt mit denjenigen Wellenlängen, welche im Wechsel des Jahres- und Tagesganges auftreten und verschwinden; im Winter sind die Strahlen, welche vor allen anderen Pigment erzeugen, auch in der Hochgebirgssonne praktisch gar nicht vorhanden, erst im Frühjahr treten sie auf und erreichen ihr Maximum im Juli. Sie fallen im Frühjahr auf eine ihrer vollkommen entwöhnte Haut und lösen nach allgemein gültigem physiologischen Gesetz als erster Reiz den größten Effekt aus. Entwicklungsgeschichtlich und wohl auch für eine richtige Deutung des ganzen Wesens der Pigmentbildung von Bedeutung ist, daß die Empfindlichkeit der Haut auch auf der kurzwelligen Spektralseite steil abfällt; die jenseits der äußersten Grenze des Sonnenspektrums von etwa 290 $\mu\mu$ liegenden Linien 265 und 253 haben eine kaum noch erkennbare Wirkung. Das führt zu folgendem Schluß: Unter dem steten Wechsel der Intensität der Sonnenstrahlung mit der Jahreszeit haben die Haut und der Gesamtorganismus des Menschen gelernt, sich den gegebenen Verhältnissen anzupassen, sich durch Pigmentbildung zu schützen gegen diejenigen Wellenlängen, welche nur bei hoher Sonne auftreten, dagegen ist der Körper gegen Wellenlängen, welche in der Strahlung der Sonne und des Himmels nicht vorkommen, wehrlos, ihnen hat er durch Pigmenterzeugung zu begegnen nicht gelernt. Die Pigmentbildung scheint mir von diesem Gesichtspunkt aus als Schutzmittel zu deuten zu sein. Wenn auch die prächtigen, übrigens nicht im Sonnenlicht angestellten Freiburger Untersuchungen zu dem Schluß geführt haben, daß die Pigmentierung nicht stets Lichtschutz gewährt, daß Pigmentierung und Lichtgewöhnung zwar gekoppelt sind, aber keineswegs die erste die Ursache der letzteren ist, so bezieht sich diese Beobachtung doch nur auf die Stachelzellen der Epidermis, das Pigment kann darum doch ein schützendes Sperrfilter sein für die unter ihm liegenden empfindlichen Gewebe,

Übrigens wird die Pigmentbildung beim Neger ebenso beobachtet wie beim Europäer; der neugeborene Neger ist zunächst schiefergrau, der in den Steppen wohnende Neger viel stärker pigmentiert als der Neger der Wälder.

Nun sind, wie mir bekannt, in der medizinischen Literatur Zweifel erhoben nicht etwa darüber, ob HAUSSER und VAHLES Untersuchungsresultate irgendeinen Einwand zulassen (sie sind die denkbar exaktest durchgeführten, unumstößlichen), wohl aber, ob die Pigment- und Erythembildung stets identisch sind und ob die sehr pointierte Abhängigkeit der Pigmentbildung, wie sie vor den einzelnen Spektrallinien der Quarzlampe zum Ausdruck gekommen ist, nicht modifiziert wird, wenn andere Strahlen hinzutreten oder Kälte- oder Wärmeeinflüsse mitwirken. Meine Damen und Herren! A priori ist letzteres zuzugeben, denn einmal wirken diese Reize ja meist auf andere, in anderen Tiefen gelegene Haut- und Gewebeteile und ändern die Blutzufuhr zu den pigmentbildenden Zellen, sodann aber mißt man in diesem Falle meist auch an ein und derselben Hautstelle nicht eine, sondern zwei oder mehrere gleichzeitige Kräfteäußerungen und kann dann doch unmöglich denselben Effekt erwarten wie bei alleiniger Einwirkung der einen einzigen Kraft. HAUSSER und VAHLES Arbeit weist den Weg für exakte experimentelle Untersuchungen: nämlich 1. Messung bei gleicher Strahlungsenergie und nicht, wie sonst üblich, in Abhängigkeit von der ganz zufälligen Energieverteilung, welche die gerade benutzte Strahlungsquelle besitzt, 2. bei Ausschaltung anderer Strahlen und unter Beibehaltung aller sonstigen äußeren Bedingungen, insbesondere der Temperatur, Feuchtigkeit, Luftruhe, die Wirkungen möglichst enger Spektralbezirke auf die Haut, die tiefer gelegenen Gewebe, das Blut, ja die einzelnen Organe im einzelnen zu studieren, und zwar, wie es hier zunächst für die auffallendste Erscheinung der Erythem- und Pigmentbildung geschehen ist, so insbesondere auf Änderungen der Temperatur, der Blutzirkulation, auf Schweißbildung und innere Sekretionen, neben denen die heute besonders beliebten Untersuchungen des Blutbildes hinsichtlich des Blutzucker-, Kalk- und Tyrosinspiegels, vor allem des Blutdrucks, beizubehalten wären als Maßstab der allgemeinen Wirkung neben der lokalisierten Wirkung. Die Schleimhaut, ein allein schon wegen ihrer gewaltigen Ausdehnung ähnlich wichtiges Organ wie die Außenhaut und damit eines der wichtigsten des ganzen Körpers, dürfte Strahlengattungen ganz anderer Größenordnung als die Außenhaut verlangen und könnte ein ganz besonders dankbares Objekt richtiger Strahlentherapie bilden. Auf die Sonderausblendung *schmaler* Spektralbezirke wäre zunächst der Hauptwert zu legen; ich bin Optimist genug, zu glauben, daß wir ganz in den Anfängen der Strahlentherapie stehen, daß es gut möglich ist, daß wir einst mit streng ausgesonderten Strahlengattungen *schmaler* Spektralbezirke spezifische Reize auf ganz spezifische Körperelemente auszuüben imstande sein werden und denselben damit Heilung von Krankheit werden bringen können. Da gilt es freilich, das ganz gewaltig lange Spektrum vom äußersten Ultrarot bis zu den kurzwelligsten Röntgenstrahlen empirisch diesbezüglich zu durchmustern.

Das skizzierte weitreichende Arbeitsprogramm wird dann auch entscheidenden Einblick eröffnen in die eigentlichen physikalischen Prozesse, insbesondere darüber, wie weit es sich um reine Wärme-, wie weit um photoelektrische Effekte handelt, welche dann beide sekundär chemische Prozesse auslösen oder beschleunigen können, und damit wird dann eine richtige allgemeine Wegweisung gegeben für eine allgemein geregelte Strahlentherapie. Wichtig wird für diese stets eine sichere Dosierung sein. Auch hier lenke ich die Aufmerksamkeit darauf, daß für die nach bisherigen Ansichten wichtigste, hauptsächlich erythem- und pigmentbildende Strahlung die Cadmiumzelle das denkbar sicherste Dosimeter darstellt, denn ihre Empfindlichkeit deckt sich fast vollkommen mit derjenigen der menschlichen Haut. Näheres findet man in meiner dieser Tage in der Zeitschrift „Strahlentherapie" erscheinenden Publikation.

Über die Zusammenwirkung der verschiedenen Strahlengattungen in der Praxis des Sonnen- und Luftbades ist noch wenig Genaues zu sagen. Empirisch sind ja die Heliotherapeuten meist von selektiven oder von lokalen Bestrahlungen zurückgekommen zur Gesamtbestrahlung. THEDERING urteilt eindrucksvoll: „Das Sonnenspektrum ist als eine biologische Einheit aufzufassen, in der das Grün nach Wellenlänge und Schwingungszahl eine mittlere Stellung einnimmt, gewissermaßen den Nullpunkt einstellt, während das Rot und Violett sich gegensätzlich gegenüberstehen, als Antagonisten einander die Wage halten. Das Rot ist langwellig, träg schwingend, wärmewirkend, biologisch und chemisch inaktiv, seelisch erregend, das Violett dagegen kurzwellig, schnell schwingend, biologisch höchst aktiv, seelisch beruhigend. Das tierische und pflanzliche Leben bedarf beider Strahlenwirkungen, und auf dem Zusammenwirken beider Strahlenarten beruht auch die Heilkraft des Lichtes." Das „Wie" dieser Heilwirkung gilt es noch sicher aufzuklären. Nach der Qualität schätzt THEDERING die verschiedenen Lichtquellen folgendermaßen ein: 1. Hochgebirgssonne, 2. Meeressonne, 3. Sonne des Mittelgebirges, 4. Sonne der Ebene, 5. künstliche Sonne. Die künstliche Sonne soll nur da zur Verwendung kommen, wo die natürliche nicht zur Verfügung steht. Das natürliche Sonnenbad mit seinem vielen Rot und innerem Violett wirke wie ein Dauerbad, das künstliche dagegen mit seiner Überfülle von kurzwelligen hautreizenden Ultraviolettstrahlen wie das Sturzbad einer Dusche. Macht man sich HAUFFES Urteil über die Abhärtung zu eigen, nämlich, daß nur langsam gesteigerte Kälte- und Wärmereize wirkliche Abhärtungsmittel seien, daß

dagegen plötzliche starke Reize nur Abstumpfung und Übung im Aushaltenkönnen erzielen, so wird man auch von diesem Gesichtspunkte aus dem Sonnenbade vor den künstlichen Lichtbädern den Vorzug geben. Über die Wirkung von Vorausbestrahlungen der Haut mit ultraviolettem Licht kommt PHILIPP KELLER zu dem eindeutigen Resultat, daß alle in der Epidermis angreifenden Reize durch Vorbestrahlung herabgesetzt, dagegen alle auf das Gefäßnervensystem wirkenden durch Vorbestrahlung vermehrt werden. Das Wärmeerythem entsteht daher schneller an ultravioletvorbestrahlter Haut, und die gesunde rötliche Gesichtsfarbe von Personen, welche sich viel im Freien und an dem Licht aufhalten, erklärt sich danach durch gleichzeitige Bestrahlung mit ultravioletten und Wärmestrahlen.

Für einzelne größere Strahlenbezirke ist das Reflexions- und Absorptionsvermögen der menschlichen Haut mehrfach untersucht worden: Das Reflexionsvermögen ist sehr verschieden für die verschiedenen Strahlengattungen, desgleichen die Penetrationsfähigkeit, und namentlich letztere ist wiederum sehr verschieden an den verschiedenen Körperstellen in vorzugsweiser Abhängigkeit von der Stärke der Durchblutung, denn der Blutstrom transportiert die Wärme von der bestrahlten Stelle fort und verteilt sie im Körper. Der dänische Physiologe SONNE fand, daß von den sichtbaren und inneren ultraroten Strahlen etwa 35% seitens der Haut reflektiert werden, von den äußeren ultraroten fast nichts. In Davos haben wir an 30 Personen verschiedenen Alters, Geschlechtes und Herkunft im spektralzerlegten Licht an der *un*pigmentierten Haut im Mittel etwa 80% in Rot, 60% in Gelb und Grün, und an der stark pigmentierten Haut im Mittel etwa 65% in Rot, 35% in Gelb und Grün gefunden. Durch die Pigmentierung büßen also hauptsächlich die grünen und gelben Strahlen an Reflektionsfähigkeit ein, deshalb erscheint uns das Pigment rotbraun. Die Haut des Japaners reflektiert allgemein und insbesondere im Rot weniger als die des Europäers, die Haut der Rothaarigen und Blonden mehr als die der Brünetten.

Über die Absorptionsfähigkeit der lebenden menschlichen Haut wurden ohne Kenntnis der Arbeiten des Finsen-Institutes in Davos schon im Jahre 1922 auch heute noch unveröffentlichte Untersuchungen angestellt und zwar — was diesen Untersuchungen trotz der entscheidenden Resultate SONNES auch heute noch Wert verleiht — außer im künstlichen auch im Sonnenlicht, während in Kopenhagen ebenso wie auch in London von LEONARD HILL nur vor künstlichen Lichtquellen, namentlich der Kohlenbogenlampe gearbeitet worden ist. Die meisten Untersuchungen sind am Oberschenkel durchgeführt, unter der Haut wurde mit Zondeks Tiefenthermometer gemessen, und zwar in 2 bis $2^1/_2$ cm Tiefe. Die Oberhauttemperatur wurde natürlich thermoelektrisch bestimmt. SONNES Befunde wurden bestätigt: Die äußeren ultraroten Strahlen dringen nicht in wesentliche Tiefen, sie werden hauptsächlich in der Oberhaut absorbiert, welche sich dabei bis zu 44° erwärmen kann, das Temperaturgefälle ist von außen nach innen gerichtet und sehr jäh, denn in 1 cm Tiefe ist die Körpertemperatur von 37° schon annähernd erreicht. Ganz anders bei den Sonnenstrahlen: Die calorische Wirkung der rotgelben Strahlen der Davoser Sonne ist in der bedeutenden Tiefe von $2^1/_2$ cm unterhalb der Haut noch eine ganz gewaltige; wir haben bis zu 40° gemessen. Was aber die Hauptsache ist, stets konnten wir feststellen, daß trotz der starken einstrahlenden Energie von meist etwa 1,5 Calorien stets die Oberhauttemperatur geringer war als die der Tiefe. Es bestand also stets ein Temperaturgefälle von innen nach außen trotz absoluter Windstille. Und hierin, meine Damen und Herren, sehe ich den springenden Punkt für alle Sonnenkuren: Das Temperaturgefälle muß von innen nach außen gerichtet sein, sonst tritt Überhitzung des Körpers ein, welche dem Lungenleidenden direkt gefährlich werden kann und dem Gesunden und Kräftigen statt Erfrischung Erschlaffung einbringt. Die kühle, trockene Luft des Hochgebirges gewährleistet die verlangte Richtung des Temperaturgefälles, sie bewahrt selbst in vollem Windschutz vor Schweißbildung und Überhitzung. Daher wirkt das Sonnenbad in der Höhe trotz seiner viel größeren Intensität stets erfrischend, während es in der warmen und feuchten Luft der Ebene erschlaffend wirken kann. Es darf gar nicht zur Schweißbildung kommen, denn stärkeres Schwitzen setzt den Turgor, d. h. den Wassergehalt und osmotischen Druck der Gewebe, herab, welche für die Zirkulation ebenso wichtig sind wie die Muskeln. Den Windeinfluß, welcher in der Ebene ein Äquivalent sein könnte, haben wir auch untersucht, was bei der im Davoser Hochtal stets streng definiert von Nordost nach Südwest oder umgekehrt verlaufenden Windrichtung gut möglich ist: Er wirkt auf die Temperatur der Außenhaut fast momentan und sehr stark abkühlend, in der Tiefe dagegen macht er sich weniger geltend, es ist auch bei stationärem Winde möglich, in der Tiefe recht ansehnliche Temperaturerhöhungen zu erzielen. Die Erkältungsgefahr, zumal in der feuchten Luft der Ebene und vor allem bei wechselnden Windstärken, ist freilich nicht zu übersehen.

Noch ein Befund ist wichtig: der der Nachwirkung. Während die Temperatur der unbekleidet bleibenden Außenhaut unmittelbar nach der Beschattung jäh absinkt zu unter normal liegenden Temperaturen, weicht die Temperaturerhöhung in der Tiefe sehr langsam und erst innerhalb $^1/_2$ bis $^3/_4$ Stunden nach Beschattung selbst bei unbekleidet verbleibendem Körper. Beim Anlegen von Kleidung unmittelbar nach beendeter Bestrahlung ist mit einer energischen mehrstündigen Nachwirkung zu rechnen. Ein anscheinend nur eine Viertelstunde währendes Sonnenbad kann also in Wirklichkeit eine mehrstün-

dige Wirkung in sich schließen, von den Dauerwirkungen abgesehen.

Hält man die Penetrationsfähigkeit mit dem Wandel der Reflexionsfähigkeit, welchen die Haut durch die Pigmentierung erfährt, das besonders in Gelb und Grün eintretende Nachlassen der Reflexion, zusammen, so kommt man zu dem Schluß, daß das Pigment regulierend wirkt gegenüber den kräftigsten (im Gelb liegt das Maximum der Intensität der höher stehenden Sonne) und recht penetrationsfähigen Strahlen der Sonne, es hält sie auf, transformiert sie in Hautwärme, welche durch Ausstrahlung leicht abgegeben wird, und zwar wiederum in der kühlen trockenen Hochgebirgsluft leichter als in der Ebene. So erklärt sich ungezwungen die der Pigmentierung parallel gehende Zunahme des Toleranzgrades für Sonnenbestrahlungen. Halten wir hierzu noch die Tatsache, daß die Winter- und Frühjahrssonne reicher an stark penetrierenden kurzwelligen Ultrarotstrahlen ist als die Herbstsonne, und daß im Frühjahr die strahlenabsorbierende Pigmentierung erst lebhaft einsetzt, während sie im Herbst nach Überschreitung des Sommenmaximums der ultravioletten Strahlen annähernd ihr Maximum erreicht hat bei gleichzeitiger Verstärkung, ja teilweise Verhornung der Haut, so werden wir geneigt sein, die oft beobachteten Ermüdungserscheinungen des Frühjahrs als Folgen tiefer in den Körper eindringender Sonnenstrahlen zu erklären, ja wir können damit wohl auch in Zusammenhang bringen das im Frühjahr gegenüber dem Herbst gesteigerte Wachstum, wie es bei Kindern an der See und in Landerholungsheimen sicher festgestellt ist, wenn hierbei vielleicht auch die Nahrung, das in den Frühjahrsgemüsen besonders reichlich vorhandene Vitamin A, das auch wachstumändernd wirkt, mitspielen dürfte. In den Tropen werden, wie wir gehört haben, die penetrierenden roten Strahlen mehr geschwächt als die kurzwelligen, der Wärmestrom wird also dort die unerwünschte Richtung von außen nach innen haben, und dies verbindet sich zu unerwünschter Wirkung mit der daselbst durch die feuchte Atmosphäre stark herabgesetzten Verdunstungsgröße. Im trockenen Wüstenklima dürften die intensivsten und penetrierendsten Strahlen gefunden werden. Eine furchtbare Grausamkeit stellte daher die in den Fremdenlegionen geübte Strafe dar, nämlich die vielstündige Exposition des nackten, durch Zwang langgestreckt auf dem Wüstensand gehaltenen Körpers gegen die Sonne. Die vom Engländer und Franzosen trotz schädlicher Gas- und Rauchwirkungen geliebten offenen Kaminfeuer haben den Vorzug der penetrierenden, ins Innere hinein erwärmenden Strahlen, welcher unseren Kachelöfen fehlt. Theoretisch gedacht, müßten die Elektro-Strahlöfen alle Vorzüge in sich vereinen, wenn ihnen ein etwaiges Übermaß langwelliger ultraroter Strahlung durch einen Glasschirm entzogen wird.

Anhaltspunkte für zweckentsprechende Kleidung, ebenso für Material und Anstrichfarben von Sonnenbadanstalten und Ähnliches finden Sie in Tabellenform in dem wohl demnächst herauskommenden „Lehrbuch der Strahlentherapie" im Kapitel „Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung" von mir zusammengestellt. Keineswegs ist es nötig, die Sonnenkuren aus Furcht vor zu großer Intensität der ultravioletten Strahlen im Sommer auf die Morgen- und Abendstunden zu beschränken, wie es jetzt mancherorten eingeführt ist, es genügt zur Abhaltung der unerwünschten Strahlengattungen eine einfache Scheibe aus Fensterglas; gutes Fensterglas läßt Strahlen oberhalb 320 $\mu\mu$ fast ungeschwächt hindurch, absorbiert aber die nach HAUSSER und VAHLES Kurven hauptsächlich pigmentierenden Strahlen vollkommen. Aber nicht ein Glashaus oder eine breite Glaswand ist gemeint, welche den Luftwechsel beschränken und die langwellige Wärmestrahlung, für welche das Glas undurchlässig ist, innerhalb der Liegehallen einbehalten, dadurch den Aufenthalt unerträglich machend, sondern ein leicht gefaßter Glasschirm eben genügend großer Dimension. Auch ein leichter Mousselinstoff gebräuchlicher Maschenweite von etwa 0,4 qmm ist als Bekleidung oder auch als Schirm für diese Fälle geeignet, er absorbiert etwa 55% der ultravioletten Strahlen. Im übrigen ist das Einfetten der Haut schon ein nicht zu verachtendes *vorbeugendes* Schutzmittel: Die alten Griechen salbten sich mit Recht nach dem Bade unter der attischen Sonne, der wahrlich nicht eitle Graubündner Bauer schützt Gesicht und — Glatze durch Fetteinreibung.

Zur Beurteilung der Stärke eines Sonnenbades bedarf es außer der Messung der spezifische Wirkung ausübenden ultravioletten Strahlung und der Messung der Gesamtintensität der zugeführten Strahlung auch der Bestimmung der Wärmeabfuhr, d. h. der Abkühlungsgröße. Man mißt sie in erster Annäherung genügend sicher mittels LEONARD HILLS Katathermometers, an welchem die Zeit bestimmt wird, innerhalb welcher der Alkoholfaden von 100° auf 95° Fahrenheit sinkt. Die Sekundenzahl, dividiert in einen mit dem Instrument mitgelieferten Faktor, ergibt in $^1/_{1000}$ Grammcalorien die Abkühlungsgröße, welche 1 qcm des Thermometers in der Sekunde erfährt. Sicherer, da auf physikalisch exakt definierten Größen beruhend und nicht nur Momentwerte, sondern auch Summen für beliebig gewählte Zeitabschnitte liefernd, mißt das jüngst konstruierte „Davoser Frigorimeter", über welches Veröffentlichungen demnächst erscheinen werden.

Ganz kurz will ich nun noch der Himmelsstrahlung gedenken, die wir bei unseren Betrachtungen bisher arg vernachlässigt haben: sie wächst in ihrer Bedeutung relativ zur Sonnenstrahlung mit der geographischen Breite und mit dem Bewölkungsgrad. In Davos trägt bei wolkenlosem Himmel die Sonne im Mittel $88^1/_2$%, der Himmel nur $11^1/_2$% zur Beleuchtung der horizontalen Fläche bei. Das gelbliche Sonnenlicht und das bläuliche Schattenlicht sind ganz verschiedener

spektraler Zusammensetzung, und daher ist das Verhältnis $\frac{S}{d}\left(\frac{\text{Sonnenlicht}}{\text{diffuses Tageslicht}}\right)$ in den verschiedenen Farben ein ganz verschiedenes und wiederum stark wechselnd mit der Sonnenhöhe. Für Davos gilt: Begibt man sich bei hochstehender Sonne aus der Sonne in den Schatten, so setzt man die rote Strahlung auf den 13,2. Teil herab, die blauviolette aber nur auf den 3,4. Teil, und eine von allen anderen Strahlengattungen abweichende wesentlich größere Bedeutung haben im diffusen Tageslicht die ultravioletten Strahlen, denn selbst bei hochstehender Sonne beträgt die Intensität der ultravioletten Sonnenstrahlung nur $^{85}/_{100}$ der Intensität der Himmelsstrahlung. Die Helligkeitsverteilung über den Himmel findet man bei mittlerer Sonnenhöhe folgendermaßen: Die hellste Himmelszone legt sich kreisartig um die Sonne, die dunkelste ellipsenartig um einen Punkt, welcher im Sonnenvertikal etwa 80° von der Sonne absteht; von ihm aus nimmt die Helligkeit auf Sonne und auf Horizont ellipsenartig fortschreitend zu. Zwischen beiden Systemen werden die Gestalten der Isophoten deformiert, und es bildet sich ein zweites Helligkeitszentrum im Sonnenvertikal unterhalb der Sonne aus. Diese Helligkeitsverteilung bezieht sich auf 40° Sonnenhöhe, und sie wechselt stark in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe. In der Ebene ist die Sonnenseite relativ heller, die Gegenseite dunkler. Bewölkung ändert die Beleuchtungsverhältnisse natürlich stark und zwar je nach dem Bewölkungsgrad B_{0-10}, nach der Helligkeitsstufe der Sonne S_{4-0} und nach der Sonnenhöhe, daneben nach der Wolkenart. Nur annähernd geht die Wärmestrahlung der Helligkeitsstrahlung parallel.

Die Einwirkung des Klimas auf den gesunden und kranken Menschen.

Von OTTO KESTNER, Hamburg.

Klima ist ein vielumfassender Begriff. Es begreift vor allem eine Anzahl von indirekten Wirkungen in sich, die an Stärke und Einfluß auf den Menschen den unmittelbaren Wirkungen vielfach überlegen sind. Dahin gehört das Vorkommen oder Fehlen bestimmter Nutzpflanzen, das Vorkommen oder Fehlen bestimmter Krankheitserreger. Dahin gehört auch die Schönheit des Hochgebirges, durch die jahrein, jahraus Tausende von Menschen, die sonst ihr Leben am Schreibtisch verbringen, dazu kommen, einige Wochen hindurch die Arbeit eines Schwerstarbeiters zu leisten. Von alledem soll hier nicht die Rede sein, sondern nur von den Einflüssen, die auf den Menschen selbst wirken. Verschieden können sein die Höhen- und Breitenlage eines Ortes, die Feuchtigkeit, die Temperatur, die Windstärke und Windrichtung, die Besonnung und vielleicht auch der Boden. Welche von diesen Anteilen des Klimas sind Umwelt für den Menschen? Denn für den Menschen wie für jedes lebende Wesen ist ja keineswegs alles Umwelt, was ihn umgibt, sondern nur dasjenige, was entweder auf seine Sinnesorgane oder sonst auf den Körper einwirkt. Welche Einflüsse vermögen das?

Am sinnenfälligsten ist die Temperatur, und der erste, der sich mit der Einwirkung des Klimas auf den Menschen wirklich ganz eingehend befaßt hat, MONTESQUIEU in seinem 1748 geschriebenen Esprit des Lois, spricht nur von ihr. Gegen die *Wärme* besitzt der Mensch 2 Schutzmittel. Das erste ist die Herabsetzung der Verbrennungen in der Leber bei gesteigerter Außentemperatur, die sog. zweite chemische Wärmeregulation, die PLAUT und WILBRAND gefunden haben. JULIUS ROBERT MEYER, von dem in diesen Tagen öfters die Rede gewesen ist, hat bekanntlich die Idee von der Erhaltung der Energie zuerst konzipiert, als er als Schiffsarzt in Holländisch-Indien war. Er sah, wie dort die Kulis auffallend wenig aßen, und schloß daraus, sie brauchten wegen der höheren Temperatur weniger in ihrem Körper zu verbrennen. Er hat bei dem damaligen Stande unseres Wissens die Nahrung zweifellos falsch beurteilt, und seine Beobachtung galt infolgedessen jahrzehntelang für falsch. OZORIO DE ALMEIDA in Rio und KNIPPING in Holländisch-Indien haben aber neuerdings gezeigt, daß der Stoffwechsel des Menschen in den Tropen tatsächlich deutlich niedriger liegt als bei uns. In heißen Sommertagen haben PLAUT und ich auch bei uns eine Herabsetzung des Stoffwechsels gesehen.

Die zweite Waffe gegen Überwärmung ist das Schwitzen. Die Klimawirkung des Tropenklimas wird beherrscht von der Schweißsekretion. KNIPPING sah, daß die Heizer im Indischen Ozean während einer Arbeitsschicht 10 l Wasser tranken. KREGLINGER und ich beobachteten während einer 7stündigen Gletscherwanderung Schweißverluste bis zu 6 l, d. h. mehr als doppelt soviel, als die Blutflüssigkeit ausmacht. Dabei sondert der Körper nicht nur Wasser ab, sondern er verliert auch Salz. Bei der eben geschilderten Gletscherwanderung am Monte Rosa beobachteten wir Salzverluste bis zu 15 g. Wenn diese nicht schleunigst ersetzt werden, geraten sogar die sonst so vortrefflichen Regulationsvorrichtungen für die Blutzusammensetzung in Unordnung. Vor allem ist die Sekretion der Verdauungssäfte durch einen solchen Salzverlust gestört. Ein erheblicher Teil der Beschwerden nach lang dauernden, öfter wiederholten Märschen oder sonstigen körperlichen Anstrengungen beruht auf diesem Zusammenhang, und ich möchte vor allem daran erinnern, daß der Magensaft und der Pankreassaft zu den wichtigsten Schutzmitteln des Körpers gegen Infektionen gehören. Andauernde Schweißabsonderung kann diese Waffe unseres Körpers leicht stumpf machen. Was das gerade in den Tropen bedeutet, ist klar.

Die Kälte dagegen wirkt auf den Menschen als solche nicht ein. Im Gegensatz zu den meisten

unserer Versuchstiere, deren Leben von der chemischen Wärmeregulation beherrscht wird, fehlt sie dem Menschen. Auf gesteigerten Wärmeverlust, auf Herabsetzung der Umgebungstemperatur reagiert der Mensch nicht mit gesteigerter Verbrennung. Die Kälte wird empfunden, sie ist unangenehm, sie wird daher geflohen, und das Bestreben, der Kälte aus dem Wege zu gehen, hat die Wohnungskultur und die Bekleidungskultur hervorgerufen. Auch kann die Kälte, wenn sie so stark wirkt, daß sie als Hautreiz wirkt, den Stoffwechsel beeinflussen, ich komme darauf zurück. Aber eine bloße Abkühlung wirkt nicht auf den Menschen.

Ebensowenig wissen wir irgend etwas über eine Beeinflussung des Menschen durch verminderten Barometerdruck. Er wird nicht gefühlt, und er ist ohne Einfluß auf den Gesamtstoffwechsel und den Stickstoffwechsel. Auf dem Umwege über den verminderten Sauerstoffgehalt wirkt er auch erst, wenn die Erhebung über der Meereshöhe mindestens 3000 m beträgt. Der Ruhestoffwechsel des Menschen ist noch in der Höhe des Jungfraujochs (3470 m) unverändert, erst recht natürlich in den niederen Höhen, in denen Menschen wohnen oder in die wir unsere Kranken schicken. In der Höhe des Jungfraujochs ist bei den meisten Menschen die körperliche Arbeitstätigkeit herabgesetzt, bei einigen vielleicht schon etwas darunter. In allen Höhen unter 3000 m sorgt die Eigentümlichkeit des Hämoglobins dafür, daß die Sauerstoffversorgung des Körpers trotz des verminderten Partialdrucks des Sauerstoffs unvermindert bleibt. Das ist außerordentlich wichtig, denn der verminderte Barometerdruck und die veränderte Zusammensetzung der Luft sind auch im geschlossenen Raume da. Wenn sie auf den Menschen wirkten, würde er sich auch im Zimmer in einer Umwelt befinden, die auf ihn wirken kann. Da das nicht der Fall ist und da auch die anderen Einflüsse, von denen wir noch sprechen werden, im geschlossenen Zimmer nicht zur Wirkung kommen können, so befindet sich der Patient in einem Kurorte, solange er bei geschlossenen Fenstern im Hotelzimmer oder im Krankenzimmer sich aufhält, nicht in dem Klima des betreffenden Kurortes. Die andere Ernährung, die andere Beschäftigung, die andere Umgebung können eine mächtige Wirkung auf den Kranken ausüben. Von einem Heilklima kann keine Rede sein, solange der Patient im Zimmer ist.

Das Wichtigste, was wir von dem Klima heute kennen, sind die Strahlung, die von der Sonne ausgeht, sind Wind und Kälte, vor allem der Wind, soweit sie als Hautreiz wirken. Es sind also Teile der Atmosphäre, die zwischen Erd' und Himmel mächtig weben. Zunächst soll von der Strahlung die Rede sein.

Die Strahlung bewirkt zunächst eine beschleunigte Blutbildung. Das ist am Gesunden schwer festzustellen. Unsere eigenen Untersuchungen begannen mit der von LAQUER, der den Blutersatz nach Blutverlusten in 2900 Meereshöhe (Monte Rosa) und in der Tiefebene bei Hunden miteinander verglich. LAQUER fand, daß der Ersatz bei gleichem Verlust an dem gleichen Hunde unten in 31 Tagen erfolgte, in der Höhe in 16. Später ist es ihm allerdings auch für den gesunden Menschen gelungen, zu zeigen, daß die absolute Menge des Hämoglobins in der Höhe beträchtlich zunimmt. WEBER fand dann schnelleren Ersatz auch bei Giftanämien, und ich konnte diese Wirkung des Hochgebirges im Laboratorium durch eine künstliche Lichtquelle, die Strahlen einer Bogenlampe, völlig nachahmen. In Wyk a. Föhr fanden HÄBERLIN, LEHMANN und ich an anämischen Großstadtkindern, die zur Erholung an die Nordsee geschickt waren, ein völliges Parallelgehen der Blutbildung und der Sonnenscheindauer. Die Art, wie hier die Strahlen wirken, ist noch nicht klar. Man muß an die Einwirkung bestimmter gasförmiger Stoffe denken, die in bestrahlter Luft entstehen. Ich fand in einer erheblichen Anzahl von Versuchen bei Hunden jedesmal beschleunigten Blutersatz, wenn ich sie die Luft aus der Umgebung einer Bogenlampe einatmen ließ, die Strahlen selbst aber zurückhielt. Allerdings sind die Unterschiede kleiner, als ich sie bei direkter Bestrahlung gefunden habe. Es ist also offenbar mindestens teilweise eine unmittelbare Wirkung der Strahlung anzunehmen. Die Strahlen können auf die Haut wirken, sie können aber auch unmittelbar an den roten Blutkörperchen in den Hautcapillaren angreifen. Das Hämoglobin absorbiert allerdings die in Betracht kommenden Strahlen nicht. Die roten Blutkörperchen verschlucken aber (Blut ist ja deckfarben!) unspezifisch alle Strahlen, und sie können infolgedessen wohl von der Strahlung beeinflußt werden.

Sonst ist es dringend nötig, mit der Möglichkeit zu rechnen, daß die Strahlung indirekt durch Stoffe wirkt, die sie in der Luft erzeugt. Ich fand, daß die von einer Bogenlampe oder einer Höhensonne abgesogene Luft den Blutdruck herabsetzt. In ihr ist u. a. Stickoxydul vorhanden. Ob dies allein die Wirkung erklärt, erscheint allerdings fraglich. Vielleicht sind andere Stoffe beteiligt. Dieselben Stoffe fand ich auch in der atmosphärischen Luft bei starkem Fallwind, und ich nehme an, daß die starke Beeinträchtigung des menschlichen Befindens durch Fallwinde, die ja gerade hier in Innsbruck studiert worden ist, auf diesen chemischen Stoffen beruht.

Unvergleichlich wichtiger ist aber nach unseren heutigen Kenntnissen die Einwirkung der Strahlen auf die Haut. Die Strahlung tut dreierlei:

1. Sie macht eine Rötung mit nachfolgender Pigmentierung. HAUSER und VAHLE haben gefunden, daß dies nur die kurzwelligsten Strahlen tun, die im Sonnenspektrum noch vorhanden sind. Die Wirkung beschränkt sich auf einen engen Strahlenbereich zwischen 320 und 290 $\mu\mu$, das Maximum liegt bei 297 $\mu\mu$. PEEMÖLLER und ich haben in systematischer Untersuchung verschiedener Lichtquellen ihre Ergebnisse durchaus be-

stätigen können. Das langwelligere Ultraviolett von mehr als 320 $\mu\mu$ macht niemals ein Erythem und erst bei sehr langer Einwirkung eine recht schwache Pigmentierung. Der Gletscherbrand beruht auf diesen kurzwelligsten Strahlen des Sonnenspektrums.

2. Die Strahlung heilt Rachitis. PEEMÖLLER hat in einer groß angelegten Untersuchung, die bald erscheinen wird, gezeigt, daß es derselbe Spektralbezirk ist, der auf die Rachitis wirkt. Die Strahlen über 320 $\mu\mu$ sind völlig unwirksam. Die Wirksamkeit der verschiedenen Lichtquellen geht parallel ihrer Intensität in dem Spektralbezirk um 300 $\mu\mu$.

3. Die Strahlung bewirkt eine Erhöhung des Stoffwechsels. Die Verbrennungen im Körper sind gesteigert, der Sauerstoffverbrauch bei Ruhe und Nüchternheit, der sog. Grundumsatz, liegt um 15—30 ccm Sauerstoff pro Minute höher als sonst, wenn die Haut von ultraviolettem Licht getroffen wird. Auch hier haben PEEMÖLLER, PLAUT und ich gesehen, daß es derselbe Spektralbezirk ist, der wirkt.

Die Bräunung der Haut wird allgemein und gewiß mit Recht als ein Zeichen von Gesundheit angesehen, die Rachitisheilung ist etwas sehr Wichtiges, beschränkt sich indessen nur auf eine Krankheit. Es fragt sich, ob die Strahlung auch sonst von Bedeutung ist, d. h. vor allem, ob die Vermehrung des Gaswechsels wichtig ist. Ich glaube ja. Ich stehe nicht an, in ihr denjenigen Klimaeinfluß zu erblicken, den wir heute als den entscheidenden für die therapeutische Wirkung eines Klimas und wahrscheinlich darüber hinaus für die Einwirkung des Klimas auf den Menschen überhaupt ansehen müssen. Wir müssen im Körper streng zwischen dem Betriebsstoffwechsel und dem Baustoffwechsel unterscheiden. Bei dem reinen Betriebsstoffwechsel, wie er sich uns am klarsten in dem Stoffwechsel der Muskeln darstellt, wird ausschließlich körperfremdes Material verbrannt; Glykogen und Fett. Die Muskelmaschine selbst tritt nicht in die Umsetzung ein. Wenn wir daher stärkere Muskelarbeit leisten, so geht zwar unser Sauerstoffverbrauch ebenfalls in die Höhe, aber es wird nur Körperfremdes verbrannt, sonst ändert sich nichts. Beim Baustoffwechsel dagegen, wie er bei der Entwicklung und in einem großen Teile der inneren Organe vorliegt, baut sich das Protoplasma um, ein Teil der Zelle geht zugrunde und wird durch neue lebende Substanz ersetzt. Wenn wir also durch einen Reiz auf die Haut, wie ihn die Strahlung ausübt, die Verbrennung im Protoplasma steigern, ohne daß dabei ein einzelnes Organ eine gesteigerte Leistung aufweist, so bringen wir die Zellen dazu, daß sie sich umbauen, es tritt dasselbe ein wie bei einer Regeneration, eine teilweise Erneuerung der Zellen. Wenn wir die Uexküllsche Ausdrucksweise anwenden wollen, so führt die Steigerung der Verbrennung ohne gleichzeitige Leistungssteigerung dazu, daß ein Teil des Protoplasmas aus der Protoplasmamaschine wieder zu echtem Protoplasma wird. Das aber ist Erneuerung und Verjüngung des Körpers. Auch hier hat es sich herausgestellt, daß der kranke und geschwächte Organismus auf den gleichen Reiz mit stärkerer Steigerung antwortet als der gesunde kräftige Körper.

Wir sehen also, daß ein bestimmter Teil der Sonnenstrahlung eine gewaltige Wirkung auf den menschlichen Organismus ausübt. Ich glaube, daß hierin, in dieser Verjüngung und Erneuerung des Körpers, die physiologische Grundlage für den Erfolg der Freiluftliegekuren gegeben ist. Freiluftliegekuren werden in Höhenklima angewendet und an der See, und wir wissen schon lange empirisch, daß man in der Höhe und am Wasser sehr viel stärker verbrennt und gebräunt wird als irgendwo sonst. Da der gleiche Spektralbezirk die Haut bräunt und den Stoffwechsel steigert, ist dies Zusammentreffen kein Wunder. Ein eigentümliches Zusammentreffen aber ist es, daß DORNO bei seiner Messung des Ultravioletts nicht das gesamte Ultraviolett gemessen hat, sondern nur den Spektralbezirk, der Hautbräunung und Stoffwechselsteigerung macht. Er hat das getan lange vor den Untersuchungen von HAUSER und VAHLE und uns. Er tat es, weil diese Strahlen besonders gut mit seiner Apparatur zu messen waren. Vermutlich liegt hier irgendeine noch unbekannte physikalische Besonderheit dieser Strahlung vor. Jedenfalls aber ermöglicht dieses Zusammentreffen, die Dornoschen Resultate wirklich für die Klimatologie zu verwerten. Wir wissen durch DORNOS Messungen, wieviel zu jeder Jahres- und Tageszeit in den untersuchten Orten gerade von derjenigen Strahlung vorhanden ist, auf die es allein ankommt.

Es ist nun weiterhin die Frage, ob nur die Strahlung einen solchen stoffwechselsteigernden Reiz ausübt oder ob wir noch andere Klimafaktoren kennen, die es auch tun. Das ist nun in der Tat der Fall. HÄBERLIN, LEHMANN und ich haben am Nordseestrande gesehen, daß auch Hautreiz durch Wind den Stoffwechsel steigert. Ganz ebenso wirkt ein Seebad und der Wellenschlag. Alle diese Hautreize, sowohl die Strahlung wie Wind und Wellenschlag, steigern nicht nur während ihrer Wirkung, sondern auch nachher den Stoffwechsel. Nach einem Seebade von wenigen Minuten Dauer war der Sauerstoffverbrauch noch nach 2 Stunden erhöht. Auch hier bestand eine stärkere Wirkung auf Kranke und Schwächliche als auf Gesunde.

Daß die Stoffwechselsteigerung wirklich zu einem Umbau, d. h. zu einer nachhaltigen Veränderung des ganzen menschlichen Organismus führt, das konnten wir durch Messungen an einer Reihe von Großstadtkindern feststellen, die erholungsbedürftig an die Nordsee gekommen waren. Wir haben absichtlich keine kranken Kinder genommen; denn daß die Rekonvaleszenz den Menschen ändert, ist weiter nicht wunderbar.

Sondern wir haben unsere Untersuchungen an kränklichen und schwächlichen Kindern angestellt, die von den Schulärzten als erholungsbedürftig befunden, aber nicht krank waren. Verändert wird zunächst das Wachstum und die Gewichtszunahme. HÄBERLIN verfügt über eine Reihe von Beobachtungen an Großstadtkindern, die jedes Jahr 2 Monate auf Föhr und dann wieder 10 Monate zu Hause waren. Wachstum und Gewichtszunahme sind immer nur auf Föhr erfolgt, so daß die ganze Entwicklung dieser Kinder treppenförmig verlaufen ist. Ferner haben wir nach der Methode der Amerikaner DUBOIS Längen und Umfänge bei diesen Kindern gemessen; fast ausnahmslos nahm der Umfang der Gliedmaßen zu, der des Bauches ab. Oberschenkel und Oberarm nahmen bis über 1 cm in 8 Wochen an Umfang zu. 3. hat LEHMANN die Reaktion der Hautcapillaren auf einen kurz dauernden Kältereiz gemessen. Auflegen eines Stückes Eis auf die Haut für 3 Sekunden. Die Haut wird dann bei gesunden und kräftigen Schulkindern aus Föhr nach 1—2 Sekunden rot, und die Röte nimmt in den folgenden Sekunden noch zu. Bei den Berliner Kindern mit ihrer welken Haut erfolgte die Rötung erst nach sehr viel längerer Zeit, und die Rötung blieb schwächer. Nach 8wöchigem Aufenthalt hatte sich die Reaktion erheblich verbessert, doch wurden die Ergebnisse der Föhrer Kinder meist nicht erreicht; 4. hat LEHMANN die Hautreaktion nach PIRQUET messend beobachtet und auch hier gesehen, daß sie am Ende des Aufenthaltes schneller und stärker auftrat als anfangs.

Ich glaube, daß diese einfachen Meßverfahren genügen, zu sagen, daß der menschliche Körper unter der Einwirkung von Strahlung und Wind ein anderer wird. Aber ich glaube weiterhin, daß man daraus noch einen anderen Schluß ziehen muß. Wenn ein Aufenthalt von 8 Wochen den menschlichen Körper derart verändert, so müssen sich Menschen, die von Kindheit auf in einem wirksamen Klima leben, offenbar ganz anders entwickeln als solche, die nicht den Klimareizen unterliegen. Ein wirksames Klima muß daher rassenbildend wirken, und es fragt sich, welche Klimata wirksam sind. Wirksam in beider Hinsicht, therapeutisch, indem sie den kranken Körper verjüngen und erneuern, rassenbildend, indem sie den menschlichen Körper verändern. Von den Klimaten, die wir in Mitteleuropa haben, sind das zunächst die *Hochalpen*. Bei ihnen wirken zwei mächtige Reize. Erstens die Strahlung, zweitens die Kälte. Die Strahlung in den Hochalpen, in dem wirksamen Spektralbezirke, auf den es ankommt, ist von DORNO gemessen und erheblich höher befunden worden als im Tieflande. Dazu kommt vor allem aber noch eins. Wie ich eingangs auseinandergesetzt habe, fehlt dem Menschen die erste chemische Wärmeregulation, die zweite chemische Wärmeregulation dagegen, die Herabsetzung der Verbrennungen durch die Wärme, hat er mit den anderen Säugetieren gemein. Infolgedessen muß die Steigerung der Verbrennungen durch die Hautreizbestrahlung durch eine gleichzeitige Erwärmung aufgehoben werden, wie wir denn in der Tat beobachten konnten, daß heiße Sonnenstrahlung keine Gaswechselsteigerung durch Bestrahlung zustande kommen läßt. Nun ist aber im Hochgebirge die Luft auch bei starker Bestrahlung kalt. Eine Überwärmung des Körpers und infolgedessen eine Auslösung der zweiten chemischen Wärmeregulation ist unmöglich, die günstige Strahlenwirkung kann also voll zustande kommen.

Das Hochgebirge hat aber noch einen zweiten wirksamen Reiz, die große Kälte im Winter. Wir haben uns im Januar in Davos überzeugen können, wie sehr und wie nachhaltig sie den Stoffwechsel steigert. Die Kälte ist so stark, daß der Mensch sie nur dadurch ertragen kann, daß es völlig windstill ist. Bei 20° Kälte und gleichzeitigem Wind würde man Liegekuren einfach nicht machen können. Die Patienten würden fliehen. Nur die Windstille ist es, die stundenlange Liegekuren hier ermöglicht. Wir sehen, wie die einzelnen Klimafaktoren ineinandergreifen. Das Hochgebirge ist wenig bewohnt. In ihm haben wir wohl die stärkste therapeutische Wirkung. Eine rassen bildende Kraft aber kommt ihm nicht zu, da zu wenige Menschen von seinen Reizen getroffen werden.

Das andere wirksame Klima in Mitteleuropa ist das nordische Seeklima. Hier haben wir im Sommer die starke ultraviolette Strahlung, deren Stärke wir auch ohne besondere Messung von den Gesichtern der Erwachsenen und Kinder ablesen können, die aus den Seebädern zurückkommen. Im Winter ist es der Wind, der als Hautreiz wirkt. Infolge des beständigen Windes kommt eine Überwärmung so wenig zustande wie im Hochgebirge. Die nützlichen Klimafaktoren können hier also auch voll zur Wirkung kommen. Therapeutisch wirkt es anders und im ganzen wohl schwächer als die Hochalpen. Die langgestreckten Küsten aber sind dicht bewohnt, und die Wirkung des Windes erstreckt sich weit ins Binnenland. Wir gewinnen so ein Verständnis für die rassebildende Wirkung gerade des nordischen Meeres.

Wie steht es mit dem Süden? An der Küste des südlichen Meeres haben wir stärkste Strahlung. Gleichzeitig aber ist es warm. Die nützliche Wirkung der Strahlung muß daher während des größeren Teiles des Jahres aufgehoben sein. Tatsächlich benutzen wir für eine Reiztherapie nur die Küste, und auch die nur während einiger Wintermonate, und es besteht heute wohl kein Zweifel, daß die Riviera als Heilklima dem Hochgebirge unterlegen ist. Eine rassenbildende Kraft kommt dem südlichen Meere nicht zu.

Sie sehen, meine Herren, daß es, trotzdem die Klimatologie offensichtlich erst in den Anfängen steht, immerhin schon gelungen ist, einen Teil der Klimawirkungen aufzuklären und zu analysieren. Der älteren Schwester der Klimatotherapie, als solche möchte ich die Pharmakotherapie be-

zeichnen, ist es so gegangen, daß lange, lange Zeit hindurch der Arzt seine Patienten mit den Abkochungen natürlicher Pflanzen behandelte, deren Wirkung empirisch gefunden war. Erst in unserer Zeit sind aus den Pflanzenextrakten die wirksamen Stoffe isoliert und zum Teil schon künstlich dargestellt worden. Die moderne Pharmakologie hat einen großen Teil der einst empirisch gefundenen Heilwirkungen zu verstehen und erklären gewußt. Damit kann die Wirkung viel genauer und sicherer ausgeübt werden als früher, und der Arzt hat in den heutigen Arzneimitteln unvergleichlich viel stärkere und sicherer treffende Waffen vor sich als frühere Generationen. Ich glaube, daß auch die Klimatotherapie auf dem Wege zu diesem Ziele ist. Wenn wir die Wirkung eines Klimas verstehen gelernt haben, können wir es viel sicherer anwenden als zu den Zeiten der Empirie. Ja, wir müssen imstande sein, künstliche Klimata herzustellen, so gut wie die Pharmakologie uns künstliche Heilmittel in die Hand gegeben hat. Wir sind in Hamburg eben dabei, einen Versuch zu machen, uns ein künstliches Heilklima zu schaffen.

Die kosmischen Einflüsse im Seelenleben.

Von WILLY HELLPACH, Karlsruhe.

Ich habe für den dritten der klimawissenschaftlichen Berichte, die Sie im Rahmen dieser Hauptgruppe erstattet wünschten, dasselbe Thema gewählt wie für den Vortrag, den genau vor 10 Jahren die Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte an die Spitze ihrer Hannoverschen Tagung gestellt hatte. Zwischen damals und heute liegt der große Krieg, der schon jene Tagung von Hannover verschlang, samt dem ganzen Knäuel wirrer Schicksale, die ihm gefolgt sind; liegen, mit andern Worten, unerhörte Umwälzungen von der Art, welche die Menschen selber sich aufzuerlegen pflegen. Es hat vielleicht etwas Tröstliches, von ihnen einmal wieder den Blick dorthin zu wenden, wo sich die übergeschichtlichen, die oft unsichtbaren, aber nicht minder unerbittlichen und viel nachhaltigeren Gestaltungen der irdischen Lebensführung vollziehen. Gestatten Sie aber, daß ich zwei kurze Interpretationen zur Fassung meines damaligen und heutigen Themas vorausschicke. Von „kosmischen" Einwirkungen soll hier nicht die Rede sein in jenem uferlosen feuilletonistischen Sinne, der diesen Begriff durch die Gleichsetzung mit allem Verstiegenen und Exzentrischen diskreditiert hat — selbstverständlich! — aber auch nicht bloß in dem engsten Sinne, der nur auf das Weltall außerhalb unseres Sonnen- oder gar Erdsystems gehen würde; sondern Sie werden den Begriff des Kosmischen von mir gebraucht finden etwa in der Ausweitung und Umgrenzung, den zuerst unser Altmeister ARRHENIUS ihm in seiner „Kosmischen Physik" erteilt hat. Kosmisch dürfen wir danach alles das heißen, was in unmittelbaren Wirkungszusammenhängen mit den Beziehungen der Weltkörper zueinander und zu dem zwischen ihnen postulierten Medium steht, unsere Sonne, unsere Erde und unsern Mond einbegriffen. Seit dem kühnen Wurfe des ARRHENIUS, der auch die Meteorologie in einem damals nicht üblichen Ausmaße kosmisch anschaute, ist diese Disziplin, wie uns erst heute wieder DORNOS Bericht verdeutlicht hat, in der Tat viel mehr kosmisch geworden, d. h. von den zufälligen Bedingtheiten durch terrestrische Vorgänge und Zustände mehr abgelöst und in das kosmische Beziehungsganze hineingestellt, wie es etwa durch den außerordentlichen Aufschwung der Bewertung und Untersuchung der Strahlungsvorgänge dargetan wird. Und wenn nun meine Berichterstattung „seelische" Tatsachen, das „Seelenleben" in der Beeinflussung durch kosmische Faktoren dieses Sinnes zeigen will, so muß sie ergänzen, daß mit seelischen Tatbeständen eigentlich meistens leib-seelische gemeint sind, „psychophysische", wie die Fachbezeichnung lautet, dergestalt, daß wir von exklusiv psychischen Erscheinungen, die uns nur als psychische gegeben und deren physische Substrate uns ganz unbekannt sind, hinübergelangen werden bis zu solchen, wo es genau umgekehrt liegt, wo uns im wesentlichen physische Phänomene aufstoßen, denen aber psychische Mitinhalte zu unterstellen wir uns gedrängt und mindestens berechtigt fühlen. Nach dieser begrifflichen Verständigung lassen Sie uns in die Fülle der konkreten Erscheinungen hineingreifen, nicht um in ihr zu schwelgen, sondern um aus ihr auszuwählen, was die großen gesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen kosmischen Faktoren und seelischen Tatsachen zu erleuchten geeignet ist.

Einen großartigen, die ganze Menschheit der gemäßigten Zonen ergreifenden, sinnlich zwar meist nicht spürbaren und dennoch metromethodisch aufs exakteste sichergestellten psychophysischen Tatbestand kosmischer Herkunft finden wir in der sog. „*Frühlingskrise*" vor. Seit fast einem Jahrhundert ist es bekannt, daß etwa zwischen dem 35. und dem 60. Breitengrade der nördlichen Halbkugel alljährlich vom April bis tief in den Juni hinein, am ausgeprägtesten in den Hochfrühlingswochen, die Schwängerungen, die Vergewaltigungen und die Selbstmorde eine Häufung erfahren, die außerhalb aller Verschiedenheiten der sozialen Lage und außerhalb aller Schwankungen der Jahreswitterung steht. Im letzten Menschenalter wurde es sichergestellt, daß an dieser Häufung auch die Einweisungen in Irrenanstalten teilhaben, und daß die gesamte, vom Normalvitalen übers Psychopathische bis ins kraß Pathologische sich erstreckende Krise auf der südlichen Halbkugel die *dortigen* Frühlingsmonate heimsucht. Der Tatbestand leuchtet dem Verständnis an sich wenig ein. Wenn man die Sexualgewalt-

taten allenfalls als eine bloße Intensitätssteigerung des normalen Zeugungstriebes auffassen könnte (was aber auch schon fragwürdig ist), so bleibt es doch rätselhaft, wie diese höchsten Auswirkungen und Ausartungen der Vitalität mit deren stärkster Zerrüttung, dem Lebensüberdruß, durch das nämliche Agens betroffen und gesteigert werden können. Die Frage, *was* in der Menschenseele oder ihren physischen Trägern es sei, das hier affiziert werde, und wovon im klimatologischen Tatbestand „Frühling" es affiziert werde, bot der Beantwortung die größten Schwierigkeiten. Diese Schwierigkeiten sind heute in Ansehung der psychophysischen Wirkung besser behoben als in Ansehung der kosmischen Verursachung.

Die *seelischen Elemente*, welche der Frühling alteriert, sind durch das Experiment aufgedeckt worden. Es erwies sich an diesem Falle ganz klassisch die Überlegenheit der experimentellen über die statistische Methode, sobald es sich um den *Nach*weis kausaler Beziehungen, nicht mehr bloß um den *Hin*weis auf solche Beziehungen handelt. Ich kann mich hier über diesen Unterschied nicht näher auslassen, in meinem jüngst erschienenen Beitrag zu Abderhaldens Handbuch habe ich ihn in Ansehung psychophysischer Tatbestände eingehend erörtert. Die Überlegenheit des Experiments gründet sich auf seine aktive Erzeugung und Variation von Tatbeständen, die der Statistik, als einer rein rezeptiven Erfassungsweise, versagt bleibt. Die schon von LOCKE gewonnene Einsicht, daß aktive Hervorbringung von Phänomenen allein uns veranlaßt, kausale Beziehung als vorhanden zu setzen (eine Einsicht, die HUME durch die Unterstellung der bloßen Häufigkeit des Neben- und Nacheinander als der Basis der Kausalitätssetzung verdunkelte, und die Kants scholastisch umgebogener Kausalbegriff nicht wiedererwecken konnte), wird durch die erforschende Kraft der Experimentalmethode vollauf bekräftigt. Die Statistik findet ihre Schranke in der Aufweisung funktionaler Beziehungen, hinter denen wir gegebenenfalls kausale Beziehungen *suchen* — und je nach dem mittels des Experiments finden oder nicht finden. Experimentaluntersuchungen von LEHMANN und PEDERSEN, von LOBSIEN und SCHUYTEN und neuerdings von BERLINER, untereinander sehr verschiedenartig und auch verschiedenwertig in der Methode und demgemäß auch in den Resultaten, lieferten dennoch die eine Erkenntnis, daß auch die menschliche Arbeitsleistung der Frühlingskrise unterworfen ist. Sie ist von keinem dieser Autoren selber gesehen worden, sie ergab sich mir erst etwa im Jahre 1919, als ich alle jene Untersuchungen unterm Gesichtspunkt der entscheidenden Fragestellung durchmusterte. Die psychophysische Leistung des jugendlichen und erwachsenen Menschen zeigt eine Jahreskurve folgenden Ganges: rein intellektuelle und psychomotorische Leistung erheben sich von einem gemeinsamen Minimum im Hoch- und Spätsommer zum Herbst hin gleichmäßig, kulminieren beide im Hochwinter und weichen im Frühling dergestalt auseinander, daß die sensorischen und intellektuellen Funktionen sinken, und zwar die feinsten am ausgesprochensten, die psychomotorischen aber ebenso entschieden steigen. Die psychomotorische Seite erlebt dann auf den Hochsommer zu einen raschen Absturz zu ihrem mit der intellektuellen gemeinsamen Minimum. Etwas anders formuliert: der Frühling setzt in der menschlichen Psychophysis ein Beieinander von intellektueller Lähmung und psychomotorischer Erregung, wobei wir uns unter Lähmung und Erregung außerordentlich leise Grade dieser Modalitäten der Lebensfunktion, dem Durchschnitt der Menschen nie zu Bewußtsein gelangende vorzustellen haben. Dieses Beieinander bildet aber auch den psychophysischen Kern aller solchen Handlungen oder Zustände, in denen wir triebhafte Entladungen der Aktivität nicht in zureichendem Maße durch die Hemmungen der Sinneskontrolle und der Vernunftüberlegung gebremst sehen. Und *dies* ist es, was an sich so verschiedene Dinge wie die Steigerungen des Zeugungstriebes, seine Ausartungen, die Gewalttat gegen das eigene Leben und die Ausbrüche psychotischer Erregungen (mit denen ja nicht der Ausbruch einer Psychose, wohl aber ihre Anstaltsbedürftigkeit meist zusammenfällt) miteinander verbindet. Die Frühlingskrise besteht also psychophysisch in gleichzeitiger intellektueller Schwächung und psychomotorischer Erregung, sie ist eine Art „Rausch", und wir begreifen es durchaus, wenn sie als solcher zwar die methodische intellektuelle Leistung herabsetzt, rauschähnlichen Geisteszuständen wie der genialen Konzeption aber nach den im einzelnen nicht immer sehr kritischen, im Kern wohl aber unanfechtbaren Auszählungen LOMBROSOS über die jahreszeitliche Lokalisation genialer Einfälle günstig ist.

Das *körperliche Substrat* dieser psychischen Alteration ist nicht nachgewiesen. Bei der stiefmütterlichen Behandlung, die bis vor anderthalb Jahrzehnten allen geographischen und klimatologischen Bedingtheiten physiologischer und pathologischer Dinge gerade in der deutschen Forschung zuteil ward, darf uns das nicht verwundern. Auch ist das Dunkel, das den Stoffwechsel der Nervensubstanz umhüllt, noch immer zu wenig erhellt, um einen Einblick in die Angriffspunkte der Frühlingskräfte zu gewähren. Die Hypothese darüber hat gewechselt, man möchte sagen, mit der wissenschaftlichen Tagesmode. In der Zeit, da man gern alles auf die roten Blutkörperchen schob, hat man in der Frühlingsanämie oder -chlorose die verantwortliche Unterlage gesucht, heute wendet man sich der inneren Sekretion zu, die seit einigen Jahren das medizinische Mädchen für alles geworden ist. Hätte die Medizin nicht so oft Dienstbotenwechsel, so könnte man mit dieser Theorie williger mitgehen. Aber eine blendende Formel, wie sie mein Freund MORO aufgestellt hat: Der Frühling ist die Jahreszeit der

inneren Sekretion — ist angesichts der verfügbaren Tatsachen eben doch nur eine blendende Formel. Sie müßte namentlich von biologischer Seite viel umfassender erhärtet und z. B. mit der Tatsache, daß so viele tierische Brunstzeiten in den Hochsommer und in den Herbst fallen, in Einklang gebracht werden. Auch können wir uns wohl ein Bild machen, durch welche endokrinen Vorgänge der Geschlechtstrieb erhöht wird, aber von solchen, welche gänzlich außerhalb der Sexualität ganz allgemein die psychomotorische Erregung und die intellektuelle Lähmung setzen, wissen wir noch so gut wie nichts. Die interessantesten klinischen Analogien aus der pädiatrischen oder dermatologischen Abteilung reichen eben nicht aus, um psychophysische Tatbestände zu decken.

Ebenso ungeklärt ist das Problem des *kosmischen Verursachers*. Lange Zeit hindurch wurde die atmosphärische Erwärmung während der Frühlingsmonate für die psychophysische Alteration verantwortlich gemacht. Dabei ist der Hauptton auf die Erwärmung, also auf die Dynamik des Temperaturanstiegs, nicht etwa auf die absoluten Wärmegrade zu legen. Diese werden ja erst im Hoch- und Spätsommer erreicht, und die Temperaturen während des Hochfrühlings bleiben bekanntermaßen wenigstens in den höheren gemäßigten Breiten oft recht bescheiden. Aber der rascheste Wärmeanstieg fällt in diese Monate, und es liegt nahe, sich erhebliche physiologische Zumutungen auszudenken, die er an die Umstellung der dynamischen Wärmeökonomie des Organismus stellen mag. Aber verhältnismäßig frühzeitig schon ist darauf aufmerksam gemacht worden, daß z. B. die Selbstmordkurve innerhalb der Gesamtfrühlingskrise nicht den Wärmezunahmen, sondern den Tageslängen parallel gehe. Und vor einem reichlichen Jahrzehnt hat GAEDEKEN in einer sorgfältigen Untersuchung alles aufgeboten, was dafür sprechen kann, daß überhaupt nicht die Wärme-, sondern daß die Lichtzunahme in den Frühlingsmonaten die eigentliche Ursache der psychophysischen Frühlingskrise sei. Eine Entscheidung ist noch nicht gefallen, und die Erkenntnislage ist dafür wohl auch noch nicht reif. Denn man muß an mancherlei andere Erklärungsmöglichkeiten denken.

Zunächst käme ein *Zusammen*wirken der Wärme- und der Lichtzunahme in Frage. Gesicherte Erfahrungen über die psychophysiologischen Wirkungen natürlicher wie künstlicher Luftwärme weisen darauf hin, daß jede namhafte Lufterwärmung die Psychophysis in der Richtung auf Beruhigung, ja Lähmung zu verändern strebt, während jede namhafte Abkühlung (bis zur Schranke der Erfrierungstemperaturen, die lähmend wirken) im Sinne der Erregung Einfluß nimmt. Ein behaglich oder mattgefärbtes psychophysisches „Phlegma", wie wir diesen mildesten Lähmungszustand am besten charakterisieren, stellt sich namentlich bei rasch ansteigender relativer Erwärmung ein. Alle Steigerung der Lichtfülle, die den Organismus trifft, aber scheint wesentlich im Sinne der Erregung zu wirken. Erinnern wir uns auch der vorhin festgestellten Tatsache, daß die Monate Juli und August (unserer Hemisphäre) allgemeine psychophysische Leistungssenkung, also Lähmung bringen, sie, die durch weitere Zunahme der Wärme bis zum Jahresmaximum, aber durch Wiederabsinken der Lichtfülle gekennzeichnet sind: die Tageslängen um Mitte August gleichen denen der 2. Aprilhälfte! Alles dies würde es durchaus plausibel machen, die Erwärmung als die Ursache der Lähmungskomponente, die Lichtzunahme als die Ursache der Erregungskomponente der Frühlingskrise anzusprechen. Damit würde auch verständlich, daß die Selbstmorddaten mit der Lichtzunahme gehen, da uns auch aus den Erfahrungen an den eigentlich psychotischen Suiciden geläufig ist (besonders den manisch-depressiven), daß steigende psychomotorische Aktivität bei noch bestehender oder hinzutretender Gemütsdepression (etwa im Ausbruchs- oder im Abheilungsstadium der Attacke) die eigentliche Selbstmordgefahr darstellt.

Aber der Hochfrühling bringt atmosphärisch noch eine ganz andere Gruppe von Veränderungen mit sich — die *luftelektrischen*. Vom April bis in den Juli wächst die Gewittertendenz der Atmosphäre, ja man muß sagen, sie entfaltet sich überhaupt in dieser Zeit ausschließlich von einem Minimum bis zum Höhepunkt, denn schon im Spätsommer nimmt die Gewitterneigung ganz rasch wieder ab, und Herbst-, Winter- und Vorfrühlingsgewitter sind meteorologische Ausnahmeerscheinungen. Während der Hochfrühlingszeit entfernt sich die luftelektrische Stabilität, die wir als Schönwetterelektrizität bezeichnen und als positive Ladung der Luft gegenüber dem Erdboden kennen, in der Richtung auf die größte luftelektrische Labilität hin. Nun wissen wir aber, daß alle Erscheinungsformen dieser Labilität, z. B. die Schwüle, die Gewitterluft, die Tropenluft, die von mir sog. Rauhschwüle im Böenwetter — daß sie alle den Organismus in einen alterierten Befindenszustand versetzen, der ein sehr wechselndes Gemisch, aber fast immer eben ein Gemisch aus Erregungs- und Lähmungsfaktoren, z. B. aus Unruhe und Mattigkeit, aus Gereiztheit und Abgeschlagenheit darstellt. Und es treten noch weitere Tatbestände auf, die gebieterisch eine Diskussion der luftelektrischen Komponente des Frühlingsklimas als möglicher Haupt- oder Mitursache der psychophysischen Frühlingskrise fordern. Die beiden wichtigsten (und auch an und für sich fesselndsten) sind der *Föhn* und das sog. *Palolo*phänomen.

Die *psychophysische Föhnwirkung* ist die höchste uns bekannte Steigerung der psychophysischen Wirkung atmosphärischer Situationen überhaupt. Sie überbietet die Effekte der Gewitterschwüle und vorübergehend einwirkender Tropenluft und steigert sich bei wetterfühligen Naturellen nicht selten zu einem stunden- oder tagelangen inten-

siven Leidenszustande, den ich in dieser weltberühmten Föhnstadt nicht auszumalen nötig habe. Es nimmt uns nicht wunder, daß hier aus Innsbruck die klassische Untersuchungsreihe über den Föhn und namentlich auch über seine psychophysische Einwirkung und deren kausale Elemente hervorgegangen ist. TRABERT, der Autor dieser Untersuchung, hat nun als die nach meinem Urteil wichtigste Tatsache ermittelt, daß die Föhnwirkung, die er an Erwachsenen, an Schulkindern und an Epileptischen studierte, eine Funktion ist der Luftdrucklage, aber das soll nicht etwa heißen des örtlichen Barometerstandes, sondern der Luftdrucklage über einem großen Territorium; mit andern Worten, daß nicht die am Orte schon *herrschende*, sondern die ihm sich *nähernde* barometrische Depression mit dem Tiefstand des Befindens in Föhnperioden zusammenfällt. Der Föhnkranke verspürt also nicht örtlichen, sondern entfernten, aber heranziehenden Barometerfall. Daraus folgt, daß gar nicht der Luftdruck selber die Ursache des Föhnbefindens ist — so wenig, wie die Föhnwärme, die ja oft nicht sehr beträchtlich und mit der Gewitterschwüle überhaupt nicht vergleichbar ist, weil diese eine sehr feuchte Wärme vorstellt, während der echte Föhn bekanntlich durch seine exzessive Trockenheit sich auszeichnet, also eine Lufteigenschaft, die sonst ein Element jener Wetterlagen ausmacht, in denen wir uns besonders wohl zu fühlen pflegen. Ursache des Föhnbefindens muß vielmehr ein atmosphärischer Faktor sein, der am *Orte* bereits zur Ausbildung gelangt ist, wenn eine starke barometrische Depression im *Anzuge* begriffen ist, oder, mit einer vortrefflichen Formel des amerikanischen Meteorologen DEXTER zu reden: an atmospheric condition registered by the barometer, wir würden zu korrigieren haben: registriert durch die Wetterdepeschen von auswärts! Der Verdacht, dieses Element zu sein, fällt aus sehr naheliegenden Gründen auf die Luftelektrizität. Weil nämlich mit dem Föhn nicht bloß sehr energische Veränderungen der luftelektrischen Situation verbunden sind, sondern weil diese Veränderungen im Prinzip die gleichen wie vor Gewittern, vor gewittrigen Böen, bei Schirokko (dem feuchtwarmen Wind der Mittelmeergebiete) und in der Tropenluft sind, und weil andererseits alle die soeben aufgezählten atmosphärischen Lagen auf den Organismus die gleichartige Wirkung ausüben. In allen andern Elementareigenschaften gehen diese atmosphärischen Lagen recht weit auseinander — Gewitterschwüle und Tropenluft sind heiß und feucht, Schirokko ist warm (oder lau) und feucht, Rauhschwüle vor Schneefällen, Wintergewittern und Böen ist kalt und feucht, Föhn ist lau (oder warm) und trocken. Wirken sie dennoch alle gleichartig, fast eintönig gleichartig in psychophysischer Beziehung ein, so liegt es am nächsten, dafür *den* Bestandteil verantwortlich zu machen, in dem sie über ihre meteorologischen Elementarunterschiede hinweg sich gleichen, und das ist die luftelektrische Alteration.

ARRHENIUS ist nun schon vor 20 Jahren für einen ganz eigenartigen Fall von Frühlingskrise *auch* auf die Luftelektrizität als die wahrscheinliche Hauptursache geführt worden — für das *Palolophänomen*. Um es denen unter Ihnen, die es nicht kennen, kurz zu beschreiben: der in den Korallenbänken der Südsee lebende Wurm Eunice viridis pflanzt sich im Oktober und November (also im Hochfrühling der Südhalbkugel) derart fort, daß seine hinteren Leibesenden abreißen; das Vorderende wächst sich im Riff wieder zu einer Eunice aus, die Hinterenden aber schwärmen an die Meeresoberfläche in ungeheuren Massen aus und dort entleeren die männlichen wie die weiblichen ihre Keimstoffe ins Meerwasser, wo diese sich befruchten. Nichts besonderes! Das Besondere liegt in der Tatsache, die zuerst von BENEDIKT FRIEDLÄNDER über allen Zweifel hinaus sichergestellt und seither immer aufs neue bestätigt ist, daß die großen Schwärme der Eunice-Fragmente, von den Eingeborenen als „Palolo" gefischt und gegessen, ausschließlich in *den* beiden Nächten des Oktober und November auftreten, in denen der *Mond* sein letztes Viertel vollendet. In den Nächten und an den Tagen vor- und nachher gibt es nur wenige Vorboten und Nachzügler. Diese Mondpünktlichkeit der Brautnächte Eunicens war den Eingeborenen seit alters bekannt, wurde aber bis zu den entscheidenden Nachprüfungen der 90er Jahre für einen religiösen Aberglauben gehalten. Die experimentelle Kontrolle hat den Tatbestand noch dahin ergänzt, daß Eunice auch aus abgeschlagenen Korallenstücken in verschlossenen Bottichen mondexakt ausschwärmt. Das Deutungsbedürfnis entfesselte eine außerordentliche Diskussion. FRIEDLÄNDER selber schloß seine Bilanz mit einem „absolut rätselhaft", das berühmte große Paloloreferat auf dem 6. internationalen Zoologenkongreß, von BRUNELLI und SCHÖNER erstattet, griff auf die Spülungsvehemenz des Flutstandes beim letzten Mondviertel zurück, durch welche die Euniceleiber, von der Sexualkrise vorbereitet, abgerissen würden, ARRHENIUS brachte das Phänomen in kausalen Zusammenhang mit dem von ihm und EKHOLM nachgewiesenen mondbestimmten Periodengang der Luftelektrizität. Die rein meteorologischen Anfechtungen des letzteren Zusammenhanges können wir hier nicht diskutieren. Gewiß ist, daß jene vorher erörterten atmosphärischen Lagen, besonders Föhn, Schirokko und Tropenluft, bei vielen Menschen gerade auch *sexuell* stark, teilweise extrem erregend wirken. Ob man sich die Wirkung der mondbestimmten luftelektrischen Situation auf die fortpflanzungsreife Eunice als rein physisch oder als *psycho*physisch vorzustellen hat, ist nach den tierpsychologischen Diskussionen des letzten Menschenalters beinahe eine naturphilosophische Frage, jedenfalls legt die „Inferiorität" des Wurmes der Unterstellung einer psychischen Komponente der Sexualkrise nichts in den Weg, da die von DARWIN entdeckte, heute unzweifelhaft nachgewiesene sehr

subtile Unterschiedsempfindlichkeit der Würmer für geometrische Formen, z. B. Blattwinkel, einen Tatbestand enthält, den diejenigen als einen „psychischen" bewerten müssen, die überhaupt den Begriff des Psychischen im Verhalten der Tiere anwenden. Für diese ist das Paloloschwärmen ein ungeheures kosmo*psychi*sches, für alle ist es ein ungeheures, sagen wir kosmo*biologi*sches Phänomen: kosmische Einwirkung ist die exakte, astronomische Mondphase, biologische (oder psychophysische) Wirkung ist der Sexualakt, Wirkungsträger wäre nach ARRHENIUS die atmosphärische Elektrizität dank ihrem mondbestimmten Gang auf der atmosphärischen, dank ihrer geschlechtserregenden Kraft auf der biologischen Seite. Da die Eunicekrise, jahreszeitlich gesehen, eine echte Frühlingskrise ist, monatmäßig genau zusammenfallend mit *der* Frühlingskrise, die sich in den Selbstmorden, Sexualverbrechen, Schwängerungen, Psychosen, psychophysischen Leistungswellen der Menschheit dokumentiert, so hilft sie, neben die Ergebnisse der Föhnstudien gestellt, die Frage nach einem möglichen oder gar wahrscheinlichen luftelektrischen Ursachenanteil der menschlichen psychophysischen Frühlingskrise unterstreichen.

Aber auch dies erschöpft die Erklärungsmöglichkeiten noch nicht. DORNO hat in seiner Pionierleistung gezeigt, daß das Licht und der jahreszeitliche Lichtwandel in der Atmosphäre wahrlich nichts Einheitliches sind. Mit den Jahreszeiten schwanken nicht nur die Licht*mengen* jedes Tages, schwanken nicht nur die Licht*stärken* jedes Zeitpunktes am Tage, sondern schwanken auch die Licht*strukturen*, schwankt die Strahlensortenmischung, die strahlige Dosierung, welche die Sonne zur Erde gelangen läßt. Der ganz verschiedene Aufbau der strahlenden Energie, der die irdischen Lebewesen exponiert sind, je nach der Jahreszeit, der Mischungswechsel wärmender, chemisch wirksamer und ultravioletter Wellenlängen vom Winter zum Frühling über den Sommer und Herbst wieder zum Winter hin, ward uns in DORNOS erster klassischer Studie über Luft und Licht im Hochgebirge frappierend klar und hat durch seine und anderer fernere Untersuchungen immer frappantere Aufschlüsse erfahren. Daß die Strahlensorten physiologisch sehr verschieden wirken, ist eine Trivialität; wie wesentlich in allen physiologischen Reaktionen aber die Reiz*stufungen*, die Reizdosen sind, ist uns allen heute nicht minder geläufig. Nicht Ultraviolett an sich, und nicht seine absolute Energiemenge ist das bestimmende für seine vitale Wirkung, sondern der *Anteil* von Ultraviolett, den es innerhalb eines Komplexes von wirkender strahlender Energie hat; die Ultraviolett*dosis* in der Gesamtstrahlung, die uns trifft. Noch besitzen wir freilich keine gesicherten Erkenntnisse über ein Frühlingsgemenge, dem wir nun die Bewirkung der psychophysischen Frühlingskrise zur Last legen könnten. Aber die allgemeine Einsicht in den Strukturwechsel der Strahlung mit den Jahreszeiten zwingt uns — ich unterstreiche: zwingt uns, nicht bloß: erlaubt uns! — zwingt uns daran zu denken, daß der die Frühlingskrise verursachende kosmische Faktor sowohl weiter als auch enger beschaffen sein kann, als es durch die alten Begriffe Erwärmung und Lichtzunahme ausgedrückt wird. Weiter, indem luftelektrische oder ultraviolette Anteile (und beide bedingen bekanntlich in der Atmosphäre einander wieder in sehr verwickelten Abhängigkeiten!) außer Wärme und Licht im engeren Sinne für die Wirkungserklärung in Betracht gezogen werden müssen; enger, indem es möglicherweise innerhalb des Lichtes nur ganz bestimmte Wellenlängen sind, denen wir *solche* vitalen Wirkungen zutrauen dürfen, wie sie sich in der komplexen Erscheinung der Frühlingskrise manifestieren.

Und nun kommt endlich gar KESTNER und eröffnet mit seinen Untersuchungen die Möglichkeit, daß es gar nicht die unmittelbare Strahlenwirkung sein möchte, der die uns vom Licht geläufigen physiologischen Effekte wie Blut- oder Luftdruckveränderung verdankt werden, sondern daß diese Effekte erst durch das Medium der chemischen Luftzusammensetzung hindurch erzeugt werden, indem bestimmte Strahlungen bestimmte *Gase* in der Atmosphäre herstellen, deren Einatmung jene physiologischen Folgen nach sich zieht. Gewiß, zwischen Blutveränderungen und Blutdruckschwankungen auf der einen und den als psychophysische Frühlingskrise auf der andern Seite zusammengefaßten Erscheinungen kennen wir bis heute keine eindeutige Beziehung, aber da wir die physischen Substrate der intellektuellen Lähmung und der psychomotorischen Erregung überhaupt noch nicht kennen, und da Blutdruckschwankungen empirisch als sehr stark mit psychischen Tatbeständen verknüpft bekannt sind, so liegt es wiederum durchaus im Bereich dessen, woran wir zu denken *haben*, wenn nunmehr bestimmte vermeintliche Strahlenwirkungen in Wahrheit als Wirkungen bestimmter durch Strahlen erzeugter Gase nachgewiesen werden. Vielleicht eröffnet sich hiermit auch ein erstes Verständnis für jene oft belächelten und doch immer wiederholten Angaben von Menschen, die den Föhn „riechen", den Schnee riechen, das Gewitter und den Frühling riechen. Die letzten Jahrzehnte haben uns, in der Medizin wie in der kosmischen Physik, manche Volkserfahrung wieder beachten gelehrt, die, zwar von Mißverständnis und Aberglauben umkrustet, doch einen brauchbaren Kern jahrtausendelanger Beobachtung einschloß, und wir wollen unserm Meister ARRHENIUS dankbar sein, daß bahnbrechende Forschungen seines Ingeniums gerade auch diesen Respekt nicht verleugneten.

Die weitausgesponnene Analyse der psychophyisschen Frühlingskrise wird Sie, meine Herren, vielleicht wundernehmen, aber sie ist darum so lehrreich, weil in ihr die typische Lage unserer Einsicht in die kosmischen Abhängigkeiten des leibseelischen Lebens sich abzeichnet. Einer Fülle

gesicherten und einer weiteren Fülle unsicheren tatbeständlichen Wissens steht unsere fast völlige Hilflosigkeit der theoretischen Deutung gegenüber, die durch die sporadische Herrschaft hypothetischer Tagesmoden nur notdürftig verdeckt wird. Ich nehme mir die Freiheit, Ihnen das noch an einer *Auswahl* von kosmischen Effekten im psychophysiologischen Leben zu illustrieren, wobei die voraufgegangene Demonstration am Musterbeispiel mir nunmehr gestattet, mich auf die jeweilige Andeutung der Erklärungsschwierigkeit zu beschränken.

Unumstritten kosmisch sind neben dem Jahreszeitenturnus noch der *Tagesablauf* und die *Mondphasen*. Ob es kosmisch bestimmte Perioden gibt, die mehrere Jahre gruppenhaft zusammenfassen, wie es etwa in den Sonnenfleckenperioden oder den Klimaperioden der kosmischen Physik, wie es andererseits in den Siebenjahrtheorien der menschlichen Physiologie behauptet wird, steht auf noch ganz unsicherem Boden. Im Tagesablauf entspricht dem Wechsel von Tag und Nacht, den ja nur die Arktis aufhebt, im ganzen ein ebenso regelmäßiger Wechsel von Wachen und Schlaf. Die Angleichung ist beim Menschen besonders der gemäßigten Zonen ziemlich streng, sie erfährt in den Tropen mancherlei Störungen, sie hört in der Arktis vollkommen auf, indem hier merkwürdigerweise der tägliche Wach-Schlaf-Turnus durchaus festgehalten wird, auch wo sich der Hell-Dunkel-Turnus immer einseitiger zum Halbjahrestypus hin verschiebt; sie ist aber vor allem bei vielen, auch höheren Tieren ungleich launischer und laxer als bei uns. Der *helle Tag* weist seinerseits einen sehr regelmäßigen Kurvengang der psychophysischen Leistungsfähigkeit auf, mit zwei Gipfeln am Vormittag und am Spätnachmittag und einer sattelartigen Senke zwischen 12 und 3 Uhr. Die kosmische Herkunft dieser *Mittagssenke*, einer fast jedem geläufigen Erfahrungstatsache, ist unerklärt. Denn die Senke besteht im Sommer wie im Winter, weshalb es mißlich ist, sie unmittelbar auf Erwärmungs- oder Beleuchtungsfaktoren schieben zu wollen, und der einzige halbwegs diskutable Deutungsversuch scheint mir noch der zu sein, daß sie phylogenetisch entstanden ist in Zeitläuften, da der Mensch überhaupt ein sommerlich angepaßtes Wesen war, daß sie sich unserm Organismus schließlich als immanente Eigenperiode eingeprägt hat und als solche heute von allem außenperiodischen Wechsel kausal unabhängig fortbesteht. Doch brauche ich vor dieser Versammlung kaum zu betonen, welch fragwürdige Seiten jede Erklärung hat, die mit Anpassungen in urgeschichtlichen Zeiträumen arbeitet. Jedoch noch viel dunkler liegen die Dinge in der Nacht! Über den Gang der *Tiefe des menschlichen Schlafes* haben wir dank den Forschungen KRAEPELINS und seiner Schule sehr genaue Kenntnisse, die sich in den Schlafkurven veranschaulichen. Die Schwankung der Schlaftiefe ist hiernach, alles in allem, sozusagen ein Spiegelbild der Schwankung der Tagesleistung. Der Schlaf vertieft sich bis Mitternacht, unterstellt, daß er zu natürlicher Zeit, also etwa 2—3 Stunden vorher beginne, verflacht sich dann ziemlich rasch zu einer stundenlangen Senke, um gegen den Morgen hin noch einmal tiefer zu werden und dann erst ins spontane Erwachen überzugehen. Die *Proportionen* stimmen nicht ganz, aber das *Gesamtbild* ist tags und nachts auffallend ähnlich: die Wiedervertiefung des Schlafes in den Stunden vor seinem Ende entspricht besonders frappant der Wiedererhöhung der Tagesleistung in den Stunden vor dem Eintritt des Schlafbedürfnisses. Spielen nun in der Modellierung der Schlafkurve überhaupt kosmische Faktoren ursächlich mit? Wir entdecken nur zwei Tatsachengruppen, die einen möglichen kausalen Zusammenhang bewirken könnten. Mit den natürlichen Zeiten des Einschlafens und Erwachens, d. h. mit den Zeiten, die für den ländlich lebenden Menschen gelten, fallen nämlich zusammen die abendlichen und morgendlichen Wendestunden des Luftdrucks und der Luftelektrizität, die beide um die Schlafengehenszeit am Abend ihr Maximum, um die Stunden des Erwachens ihr Minimum darbieten. Aber ob es sich dabei wirklich um kausale Verknüpfungen, oder nur um eine zufällige Parallelität handelt, wissen wir nicht.

Jene Störungen des Schlafens dagegen, die wir zusammenfassend am besten als *Nyktopathien* benennen, werden bekanntlich von der Volksmeinung seit uralters mit dem Monde in kausale Beziehung gesetzt. Nachtwandeln, Nachtschreien und Schlafsprechen in allen ihren Übergängen und Schattierungen bezeichnet die vulgäre Sprache gemeinhin als „*Mondsucht*". Die rationalistische Auflösung der alten magischen Vorstellung, als ob der Mond mit irgendeiner geheimnisvollen Kraft den Schläfer „anziehe", meinte die *schlafstörende Lichtwirkung* des Mondes für die Auslösung der nokturnen Pavor- und Ambulanzzustände verantwortlich machen zu sollen. Ich vermag dieser Auslegung nicht zu folgen. Jeder Kundige weiß, daß nicht wenige nyktopathische Attacken sich verlieren oder mildern, wenn man den Schläfer nicht im Stockdunklen, sondern im leise erleuchteten Raume schlafen läßt; alte Ärzte haben das Nachtlicht mit Vorliebe und mir scheint mit Recht als beste Prophylaxe gegen viele noktambulen Zustände verordnet. Heute würde man die Frage ganz anders stellen müssen — nämlich, ob eine periodische Häufung der Nyktopathien mit den Mond*phasen* zu beobachten sei? Diese Fragestellung ist gänzlich ununtersucht, das einzige, was mir darüber bekannt wurde, war die Behauptung eines Menschen von der Nordsee, wonach dort vielfach die Noktambulien und Pavoren als mit den Flutphasen gehend geglaubt werden. Aber alle diese Zustände sind ja von zahlreichen Autoren seit langem als „epileptoid" aufgefaßt. Ich vermag mich dem allerdings nur cum grano salis anzuschließen, immerhin — über den Zusammenhang der wirklichen Fallsucht mit dem Mondwechsel

haben wir doch Untersuchungen, deren bahnbrechende mit keinem geringeren Namen als dem des Svante ARRHENIUS geziert sind. Sie reichen bis in unsere Tage herab in Gestalt des unentschiedenen Streites zwischen GALLUS und AMMANN: deren ersterer die Sokolow-Arrheniusschen Theorien vor den nackten Tatbeständen sich zu nichts verflüchtigen läßt, während AMMANN die Tatsächlichkeit einer funktionalen Verknüpfung von Mondphase und Epilept retten zu können sich sicher fühlt. Mich überzeugen ARRHENIUS und AMMANN mehr als GALLUS, und ich mache kein Hehl daraus, daß ich es für sehr viel wichtiger halten würde, die periodische Häufung aller möglichen biopathischen Dinge, außer den Nyktopathien, z. B. auch der Hämorrhoidalattacken, der Migräneanfälle u. dgl., unterm Gesichtspunkte der Mondphasen zu studieren, als unterm Gesichtspunkte der Fließschen Formel, die ja wahrscheinlich selber nur eine abstrahierte, in den luftleeren Raum der reinen Zahlenwelt transponierte Mondformel darstellt.

Die einzige tatbeständlich gesicherte Verknüpfung der astronomischen Mondphase mit einem biologischen, vielleicht psychophysischen Geschehen bliebe danach der oben geschilderte Fall der schwärmenden Eunice, des Palolowurmes. Dem singulären Fall aus den Meerestiefen steht ein singulärer Fall von den Menschheitshöhen gegenüber: die Hypothese einer *siebenjährigen psychophysischen Periode* ist tatbeständlich bis heute nur einwandfrei gestützt an dem Exempel GOETHES, für den MOEBIUS den heute kaum noch angefochtenen Nachweis dieser Eingliederung seines erotischen und schöpferischen Lebens in jenen „kryptokosmischen" Rhythmus geführt hat. Man muß am Grabe dieses zu früh geschiedenen Forschers, der wie selten einer naturwissenschaftliche und geisteswissenschaftliche Intuition und Methodenbemeisterung verband, immer wieder dankbar und ehrerbietig das Haupt entblößen! Goethes zweite Lebenshälfte zeigt den Siebenjahrrhythmus des Liebens und Dichtens so überzeugend, daß an dieser Tatsächlichkeit so wenig zu zweifeln ist, wie an der Mondbestimmtheit der Paloloschwärme; in der ersten Hälfte fließen die Wellen etwas krauser durcheinander, doch schon vom 30. Lebensjahre ab beginnt das *Gesetz* ihrer Dünung sich unverkennbar abzuzeichnen. Dennoch, wir kennen keinen Parallelfall, so eifrig er auch gesucht worden ist. Das allgemeinere Substrat dieses singulären Rhythmus vermöchte nur SWOBODAS (zuerst auf einem Naturforschertage vorgetragene) Hypothese vom *generellen* Siebenjahrrhythmus der menschlichen Zeugungsfähigkeit abzugeben. Trotz eines respektablen geneologischen Materials, auf das sie sich stützt, ist ihre tatbeständliche Stichhaltigkeit bisher nirgends recht anerkannt, vielleicht mit darum, weil SWOBODA *zu*viel zu beweisen versucht und auch alle abweichenden Fälle mit Deutungsgewalt in seine Formel preßt. Übrigens stimmt gerade schon bei Goethe die Annahme nicht, daß die „Hochjahre" SWOBODAS, die physisch und geistig produktiven Jahre, die von der Geburt an gezählten Siebenjahre seien. Goethes Rhythmus schwingt siebenjährig etwa vom 17. Jahre ab und keiner der Wellenberge ist durch 7 teilbar. Gleichviel: der biologischen Siebenjahrperiodik, wie singulär oder wie generell sie sein möge, entspricht keine kosmische, *um die wir wüßten*. Der eine großartige Tatbestand, der uns in Goethes Dasein gesichert vorliegt, läßt uns nach seiner Ursachenseite hin mit einem riesenhaften Fragezeichen im Stich.

Vergessen aber soll nicht werden des trotz allem imposanten Versuches, den WILHELM FLIESS aufgebaut hat, um die Realität seiner beiden Grundperioden alles Lebendigen, des Physischen samt dem Psychischen, zu erweisen, der 23- und der 28tägigen. Das Werk von FLIESS mutet mich freilich an wie eine Pyramide, die auf der Spitze stehen muß. Denn sein tatbeständliches Fundament ist eine winzige Zahl einfacher Realitäten dieser Periodiken aus Tier-, Pflanzen- und Geisteswelt, und darüber erhebt sich ein ungeheurer Koloß von Algebra. Hierzu jedoch ist die Biologie samt der Psychologie noch nicht reif, und mancher verneint, daß sie es jemals werde. Denn Kants Dogma, daß die Vollkommenheit jeglicher Wissenschaft durch ihren Gehalt an Mathematik bestimmt werde, ist ganz ein Kind des 18. Jahrhunderts und durch die Epoche der Geisteswissenschaften mit ihrem überhaupt nicht nomothetischen Erkenntnisziel längst überholt. Und es gibt in jeder Forschung ein Frühstadium, in den Formeln mehr den Zusammenhang verdecken, als daß sie ihn lichten, und für das fast die Umkehrung des Kantischen Satzes gilt, so daß das Forschen in diesem Stadium desto vollkommener ist, je mehr es sich von vorzeitiger Mathesierung freihält. Dennoch reichen die Tatsachen der 28tägigen Periodik aus, um für *diesen* Rhythmus einen erklecklichen Geltungsbereich im Lebenden zu erweisen. Und ARRHENIUS hat ja einen großartigen, wenn auch noch nicht beweisenden Versuch unternommen, in den mondbestimmten Perioden der Luftelektrizität das Medium zu finden, das die 28tägig schwingenden vitalen Vorgänge an ihre kosmische Ursache bindet: die weiblichen Menstruationen und die epileptischen Anfälle. Hier ist ein Torso von Erkenntnis, den auszugestalten des Schweißes der Besten wert sein wird.

Tief im Halbdunkel endlich liegen noch Wirkungen, die möglicherweise unser *Erdkörper* selber auf seine Lebewesen ausübt. Ich erwähne nur das Problem der Spürbarkeit verschiedener Bodenzusammensetzungen, wie es im Wünschelrutenstreit uns entgegentritt, in dem die Chancen der gläubigen Partei nach meinem Eindruck im letzten Jahrfünft eher wieder ein wenig zurückgegangen sind; ich deute hin auf jene viel wesentlicheren Untersuchungen des FRANZ BOAS, der die Veränderung der Kopfform bei den Nachkommen amerikanischer Einwanderer unanfechtbar dargetan hat. Die *Ursache* ist völlig *unbekannt*, die *Trag-*

weite des Tatbestandes aber, wie EUGEN FISCHER mit Recht sagt, *unabsehbar*; erblicken wir doch hier zum ersten Male auf Grund exaktester Forschung wichtige körperliche Merkmale des Menschen als eine Funktion der *Örtlichkeit auf dem Globus*, ohne daß klimatische oder nutritive Faktoren zur Erklärung ausreichten.

Das Gesamtbild, das ich Ihnen von dem Erkenntnisstande unseres Themas zeichnen konnte, mag Ihnen wenig befriedigend erscheinen. Es nimmt sich fast aus wie ein tiefdunkler Nachthimmel, an dem, weit voneinander abstehend, nur ein paar Sterne und Sterngruppen eine erste Übersicht und ein Sich-Zurecht-Finden ermöglichen. Und es ist kein Zweifel, daß wir in diesen Fragen nur langsam vorankommen werden. Aber vergessen Sie nicht, daß der Anblick, zu dem ich Sie heute geleiten durfte, künstlich verengt ist. Füllt man das Gerüste der im eigentlichen Sinne kosmischen Erscheinungen mit den weiteren Einwirkungen des Klimas und der Witterung auf die psychophysische Organisation, so wird nicht bloß die Tatbeständigkeit reicher, sondern auch die Erklärbarkeit hoffnungsvoller. Am Beispiel der Frühlingskrise mag Ihnen das deutlich geworden sein. Und ich brauche nur anzudeuten, wie KESTNER vom langjährigen Studium des Hochgebirgsklimas zu seinen Experimenten, DORNO vom gleichen Interesse her zu seinen Messungen geführt wurde, die nun beide so deutungserheblich für die Frühlingskrise werden; ich erwähne, wie BERLINER im Strandklima des *ganzen* Jahres hochüberrascht die Frühlingscharakteristica der psychophysischen Wirkung wiederfindet und wie auch von seinen waldklimatischen Experimentaluntersuchungen (an Waldschulkindern) wiederum Licht auf die jahreszeitlichen Unterschiede der psychophysischen Reaktionen fällt. TRABERTS Höhenanalyse wurde uns ein entscheidendes Hilfsmittel in der Analyse des Frühlingscharakters, und verwehrte es mir nicht die Zeit, mich in einzelnes zu verlieren, so vermöchte ich Ihnen ähnliche Übertragungen an den klimatographischen Tatbeständen der psychophysischen Tropenwirkung oder des Polarcycloids zu verdeutlichen. Allenthalben gewahren wir die kosmopsychischen Erscheinungen, denen Sie heute Ihre Aufmerksamkeit geschenkt haben, gefördert in ihrer erklärenden Aufhellung durch das breitere Material und die zugänglichere Deutung der geopsychischen. Auf einer neuen Linie sind wir guten Mutes den Schleier zu heben von sehr leisen, vielfach unmerklichen, aber ebenso unabwendbaren und unser inneres Schicksal gewiß, unser äußeres *vielleicht* mitbestimmenden Wirkungszusammenhängen, angesichts deren uns in ganz neuer Bedeutung das Goethewort erscheint, daß wohl vieles in unserem Leben und Weben auf Erden immer wieder war, ist und sein wird, „wie's die Sterne wollten".

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.